

РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ОЗОНОВОГО СЛОЯ ПО РАЗЛИЧНЫМ КАЛИБРОВКАМ

Б.Б. Саякбаева

*Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР г.Бишкек,
Республика Кыргызстан*

Приведены спектры атмосферного озона, полученные как по методу атмосферной калибровки интенсивности линии озона (метод «разрезов»), так и по абсолютной калибровке («угол-азот»). При использовании метода разрезов получены заниженные значения тропосферного ослабления, что приводит к получению заниженных значений концентрации озона на стратосферных уровнях. В то же время данные спутникового MLS AURA и наземного прибора РМС-001 при использовании метода абсолютной калибровки показали удовлетворительное совпадение (в пределах 5%).

Приведены также результаты ряда проведенных экспериментальных работ по снижению уровня паразитного сигнала, связанного с модуляцией и приемом излученных через входной рупор шумов гетеродина.

Для описания распространения электромагнитного излучения в атмосфере, как правило, используют теорию переноса, которая оперирует энергетическими величинами, и прямо не опирается на волновые свойства излучения, а пользуется понятиями геометрической оптики, т.е. пренебрегает дифракцией. Кроме того, предполагается, что волны, приходящие с различных направлений, не коррелированы, поэтому складываются не напряженности поля, а величины пропорциональные их квадратам, т.е. пренебрегают интерференцией. Основной характеристикой, с которой оперирует теория переноса, является лучевая интенсивность (иногда её называют яркостью). Это величина, характеризующая поток энергии в единицу времени через единичную площадь, перпендикулярно расположенную к направлению луча в телесном угле 1 радиан. Если речь идет о частотной зависимости, то используют понятие спектральной интенсивности (яркости), т.е. интенсивности в единичной полосе частот (обычно равной 1 Гц).

При получении спектров атмосферного озона ранее [1,2] была использована, в основном, методика атмосферной калибровки интенсивности линии озона (метод «разрезов»), которая включает в себя последовательный прием излучения атмосферы в зените, в направлении угла места 16° и от «черного тела» при температуре окружающего воздуха. Результаты этих измерений оказались намного заниженными по сравнению со спутниковыми данными. В связи с этим был проведен ряд измерений по абсолютной калибровке в режиме «угол-азот», с целью усовершенствования аппаратур.

Измерения делились по сериям, полученные в каждой серии данные автоматически сохранялись в отдельном файле с местом расположения в текущем каталоге накопителя на жестком диске. Имя файла – это дата измерений. Расширением файла является его порядковый номер (максимум 999). Например, файл с именем 13_10_09.001 – это первый файл с данными от 13.10.2009г. (таблица 1).

Файл является текстовым (DOS), в начале файла находятся данные об условиях наблюдений, полученные из файла конфигурации программы. Далее идет таблица: первая колонка – расстройка частоты относительно центра линии озона 110836 МГц, вторая – антенные температуры по спектральным каналам, третья – ошибка измерений (ориентировочно) по спектральным каналам. Последняя строка соответствует опорному каналу.

После завершения процесса измерений данные корректировались на тропосферное ослабление и обрабатывались (восстановление высотного распределения озона).

Озоновый слой описывается аналитически формулой:

$$N_{oz}(Z) = 4N_{max} * \frac{e^{R(Z-H_{max})}}{[1 + e^{R(Z-H_{max})}]^2},$$

где N_{max} – концентрация озона в максимуме слоя (молекул/см³), H_{max} - высота максимума (км); R – характерный параметр убывания озона с высотой (1/км).

Таблица 1.

| | | | |
|---------------------|------------|---------------------------|-------------------------------|
| Data: 13.10.2009. | | Time: 15:20:18 - 15:24:48 | |
| METEOROLOGICAL DATA | | *** | CALCULATION DATA |
| Ambient temperature | 15 | | Stratosphere temper. 250 |
| Barometric pressure | 633 | | Coefficient BETA 0.93 |
| Relative humidity | 40 | | Obs. zenith Angle 74 |
| Wind velocity | 1 | | Temper. of Reference Load 100 |
| Wind direction | 90 | | Temper. of Black Body 15 |
| Longitude | 77 | | |
| Latitude | 42 | | |
| Observ. SITE | KAROI | | |
| Frequency(MHz) | Data | | Error |
| -150.0 | 104.361026 | | 0.405125 |
| -127.0 | 104.711761 | | 0.386016 |
| -106.0 | 106.100844 | | 0.350478 |
| -87.0 | 105.593034 | | 0.365321 |
| -70.0 | 107.139939 | | 0.579369 |
| -55.0 | 107.826365 | | 0.616008 |
| -42.0 | 108.363538 | | 0.511000 |
| -31.0 | 110.175270 | | 0.583353 |
| -22.0 | 111.515124 | | 0.762201 |
| -15.0 | 113.313269 | | 0.796574 |
| -10.0 | 113.680796 | | 0.554063 |
| -6.0 | 115.673876 | | 0.724496 |
| -3.0 | 116.071395 | | 0.844526 |
| -2.0 | 117.752525 | | 0.994405 |
| -1.0 | 116.392197 | | 1.045623 |
| 0.0 | 118.146417 | | 0.945395 |
| 1.0 | 120.002935 | | 1.078869 |
| 2.0 | 117.479312 | | 0.905939 |
| 3.0 | 116.230066 | | 1.036554 |
| 6.0 | 115.424752 | | 0.569792 |
| 10.0 | 113.791753 | | 0.665263 |
| 15.0 | 111.676856 | | 0.647512 |
| 22.0 | 109.783358 | | 0.596368 |
| 31.0 | 109.729529 | | 0.624847 |
| 42.0 | 108.467917 | | 0.660419 |
| 55.0 | 107.995397 | | 0.419079 |
| 70.0 | 107.792189 | | 0.414692 |
| 87.0 | 107.813716 | | 0.346387 |
| 106.0 | 108.043716 | | 0.340208 |
| 127.0 | 108.659480 | | 0.270168 |
| 150.0 | 107.752568 | | 0.267006 |
| -336.0 | 103.445458 | | 0.184163 Base channel |

На рис.1. в таблице приведены - в 1-ом столбце слева – номер канала левого крыла линии; во 2-ом столбце – измеренная линия в единицах оптической толщины (поглощения) озона в Нп; в 3-ем столбце - разница между измеренной и рассчитанной линиями; в 4-ом

столбце - рассчитанная линия озона по подобранному профилю. Процедура восстановления ВРО заключается в последовательной подгонке к измеренному спектру озона теоретического путем подбора “Nmax” при фиксированных “R” и “R”. При этом графики кривых располагаются максимально близко друг к другу, а величина «Сумма квадратов отклонений (расчет)» – минимальная.

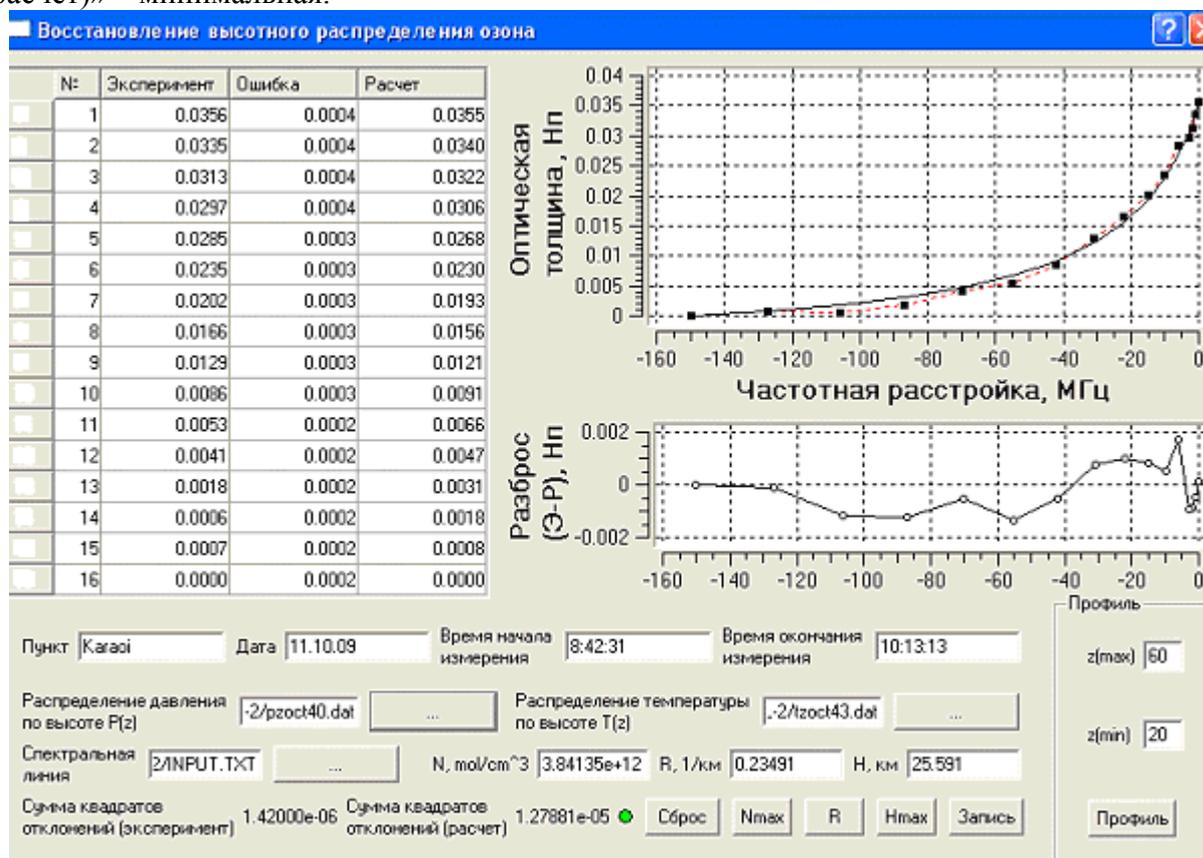


Рис.1. Восстановление высотного распределения озона

Примеры распечаток результатов восстановления с экрана и результатов восстановления вертикального распределения приведены на рис. 1 и в таблице 2.

Из таблицы 2 можно получить графики ВРО, все результаты наблюдений находятся в банке сбора и обработки данных обсерватории.

После проведенных абсолютных измерений, для снижения уровня паразитного сигнала, связанного с модуляцией и приемом излученных через входной рупор шумов гетеродина, вблизи зеркал антенной системы установлены дополнительные поглотители миллиметрового диапазона волн.

Это позволило практически устранить отмеченные (также при усреднении данных за длительный период времени) систематические искажения формы линии в области правого крыла (пример приведен на рис 2., выделено кривой II). Искажения линии в области левого крыла являются случайными и при усреднении сглаживаются.

Таблица 2.

| | | | |
|--------------------|----------|---------------------|------------------------|
| Mobile ozonometer | | Resonance frequency | 110836.04 MHz |
| Number of channels | 32 | Observation point | Karaoi |
| Date | 12.10.09 | Time | 10:50:56 12:17:21 azot |

| | | | | | | | |
|------|--------|----|--------|-------|--------|----|--------|
| 1 E: | 0.0327 | C: | 0.0329 | 9 E: | 0.0122 | C: | 0.0111 |
| 2 E: | 0.0312 | C: | 0.0315 | 10 E: | 0.0083 | C: | 0.0084 |
| 3 E: | 0.0295 | C: | 0.0297 | 11 E: | 0.0058 | C: | 0.0061 |
| 4 E: | 0.0273 | C: | 0.0282 | 12 E: | 0.0048 | C: | 0.0043 |
| 5 E: | 0.0255 | C: | 0.0246 | 13 E: | 0.0025 | C: | 0.0028 |
| 6 E: | 0.0213 | C: | 0.0211 | 14 E: | 0.0011 | C: | 0.0017 |
| 7 E: | 0.0185 | C: | 0.0177 | 15 E: | 0.0006 | C: | 0.0007 |
| 8 E: | 0.0153 | C: | 0.0143 | 16 E: | 0.0000 | C: | 0.0000 |

Sum of squared deviations (E) = 8.400e-007
Sum of squared deviations (C) = 5.460e-006
Nmax = 3.530e+012 R = 0.230 Hmax = 25.366

| | |
|------|------------|
| 20.0 | 2.464e+012 |
| 21.0 | 2.769e+012 |
| 22.0 | 3.049e+012 |
| 23.0 | 3.281e+012 |
| 24.0 | 3.444e+012 |
| 25.0 | 3.524e+012 |
| 26.0 | 3.512e+012 |
| 27.0 | 3.408e+012 |
| 28.0 | 3.225e+012 |
| 29.0 | 2.978e+012 |
| 30.0 | 2.689e+012 |
| 31.0 | 2.380e+012 |
| 32.0 | 2.069e+012 |
| 33.0 | 1.771e+012 |
| 34.0 | 1.496e+012 |
| 35.0 | 1.249e+012 |
| 36.0 | 1.034e+012 |
| 37.0 | 8.485e+011 |
| 38.0 | 6.922e+011 |
| 39.0 | 5.617e+011 |
| 40.0 | 4.539e+011 |
| 41.0 | 3.655e+011 |
| 42.0 | 2.935e+011 |
| 43.0 | 2.352e+011 |
| 44.0 | 1.881e+011 |
| 45.0 | 1.503e+011 |
| 46.0 | 1.199e+011 |
| 47.0 | 9.555e+010 |
| 48.0 | 7.611e+010 |
| 49.0 | 6.059e+010 |
| 50.0 | 4.821e+010 |
| 51.0 | 3.835e+010 |
| 52.0 | 3.050e+010 |
| 53.0 | 2.424e+010 |
| 54.0 | 1.927e+010 |
| 55.0 | 1.532e+010 |
| 56.0 | 1.217e+010 |
| 57.0 | 9.671e+009 |
| 58.0 | 7.684e+009 |
| 59.0 | 6.104e+009 |
| 60.0 | 4.850e+009 |

Total ozone (20-60) = 4.749e+018

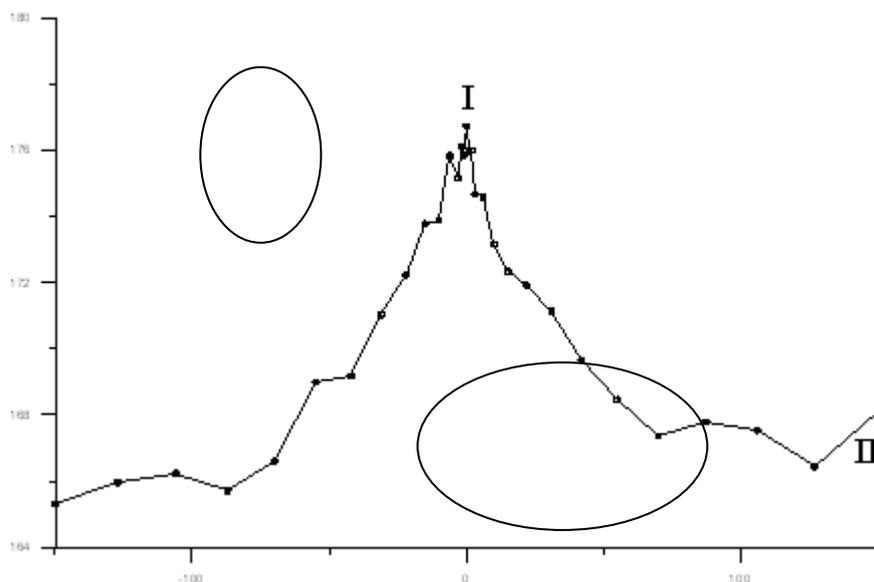


Рис.2. Искажения линии поглощения озона, связанных с аппаратурными эффектами.

Проведенные испытания показали, параметры приборов соответствуют необходимым для оперативного измерения контура линии озона на волне 2,7 мм с точностью, обеспечивающей восстановление вертикального профиля O_3 . Линия поглощения озона после исправлений и установки дополнительных поглотителей показана на рис. 3

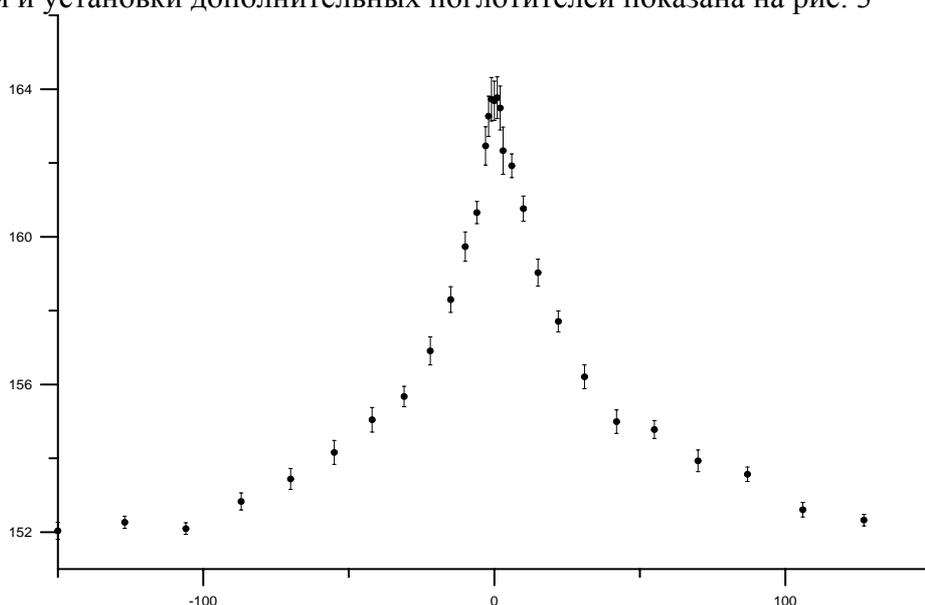


Рис. 3. Линия поглощения озона, измеренная в режиме абсолютной калибровки по поглотителям

После профилактических работ были проведены плановые сезонные периодические измерения озонового слоя. Были впервые восстановлены высотные распределения озона для весны, лета и осени 2009 года. Примеры ВРО приведены на Рис.4 Видно, что максимальная концентрация озона находится в пределах высот от 24,5 до 25,7 км. В столбе высотой 20-60 км находится 70-80% озона всей Земной атмосферы.

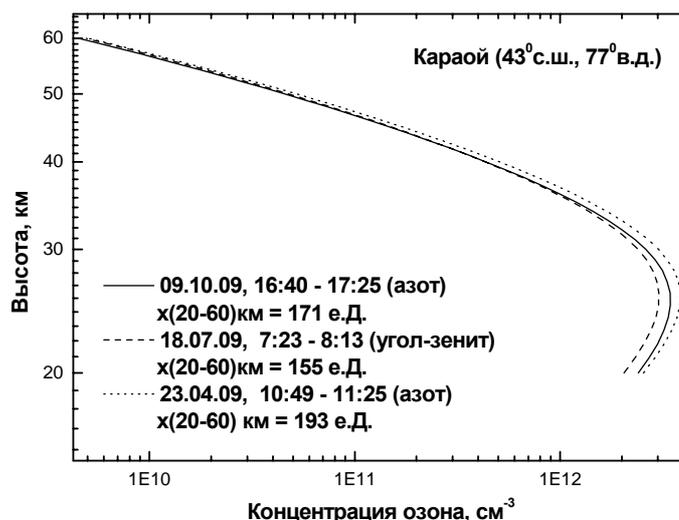


Рис.4. Высотное распределение озона

Для сопоставления результатов наземного микроволнового зондирования обсерватории с другими были привлечены данные измерений спутникового инструмента EOS MLS AURA. Из всего массива данных были выбраны высотные профили O_3 , которые соответствовали пролету спутника над районом расположения радиофизической обсерватории в с.Караой. Для сравнительного анализа ограничили географические координаты этого района областью $(43 \pm 3)^\circ$ с.ш. и $(77 \pm 5)^\circ$ в.д. Спутниковые данные, приведенные в единицах отношения смеси озона с воздухом (млн^{-1}), были пересчитаны в абсолютные концентрации, используя высотные зависимости температуры и геопотенциала на фиксированных барических уровнях. Результаты сопоставления для области стратосферы 25 – 50 км приведены в таблице 3. Видно, что достаточно хорошее согласие наблюдается в центральной части указанного высотного интервала.

Таблица 3

| 23 апреля 2009 г. | Концентрация озона, см ⁻³ | |
|----------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Высота, км | Наземный микроволновый спектро радиометр РМС-001 | Спутниковый инструмент EOS MLS AURA |
| 25 | $3,7 \cdot 10^{12}$ | $4,47 \cdot 10^{12}$ |
| 30 | $3,08 \cdot 10^{12}$ | $2,90 \cdot 10^{12}$ |
| 40 | $5,08 \cdot 10^{11}$ | $4,97 \cdot 10^{11}$ |
| 50 | $4,91 \cdot 10^{10}$ | $5,79 \cdot 10^{10}$ |

Как отмечалось выше, при использовании метода разрезов получают заниженные значения тропосферного ослабления. По-видимому, при распространении радиоволн над значительной частью водного массива (озеро Иссык-Куль) нарушаются условия плоскостойкости тропосферной части атмосферы (сигналы, пришедшие с двух направлений - угол 16° и зенит, становятся не связанными законом секанса), что приводит к неправильному определению тропосферного ослабления по методу “разрезов”. Полученные заниженные величины этого ослабления при последующем пересчете к стратосферным условиям приводят к искажению спектра озона, а именно, к уменьшению интенсивности линии O_3 . В конечном итоге, при восстановлении вертикального распределения озона, как правило, получают заниженные значения концентрации O_3 на стратосферных уровнях. Это хорошо видно на результатах сравнения данных, полученных с помощью двух различных методик калибровки, и при сопоставлении их со спутниковыми данными (Таблица 4).

В то же время получили удовлетворительное (в пределах $\pm 5\%$) совпадение данных MLS AURA и наземного прибора РМС-001 при использовании метода абсолютной калибровки (23 апреля 2009 г. и 10,11 октября 2009г.)

Таблица 4

| Дата | Концентрация озона, см ⁻³ | | | |
|----------|--------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|
| | 30 км | | 40 км | |
| | РМС-001 разрез / абс.калибр. | MLS AURA | РМС-001 разрез / абс.калибр. | MLS AURA |
| 17.09.06 | 2.47(12) / 3.17(12) | 2.81(12) | 3.74(11) / 5.35(11) | 5.68(11) |
| 23.04.09 | 2.16(12) / 3.09(12) | 2.90(12) | 3.83(11) / 5.08(11) | 4.97(11) |
| 19.07.09 | 2.21(12) | | 4.17(11) | |
| 10.10.09 | 2.06(12)/3.02(12) | | 3.38(11)/5.06(11) | |
| 11.10.09 | 1.65(12)/2.97(12) | | 2.97(11)/5.31(11) | |

Результаты сопоставления данных измерения содержания озона в стратосфере над районом озера Иссыккуль наземным прибором РМС-001 (две методики калибровки) и спутниковым инструментом MLS AURA.

Литература

1. Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б. Наблюдения стратосферного озона над оз.Ысык-Көл радиоастрономическими методами в миллиметровом диапазоне длин волн // Наука и новые технологии №3, 2009. - С.276-279.

2. Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Т. Измерения высотного распределения стратосферного озона на мм радиоволнах // Труды Международной конференции по распространению упругих и упругопластических волн, посвященной 100-летию со дня рождения академика, Героя соц. труда Х.А.Рахматулина 28-29 мая 2009. Бишкек. - С.68-70.

ОЗОН ҚАБАТЫН ӨРТҮРЛІ МӨЛШЕРЛІК ТҮРҒЫСЫНАН ЖЕР БЕТІНДЕ БАҚЫЛАУДЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІ

Б.Б. Саякбаева

Озон түзулер қарқындылығын атмосфералық калибровкалау (кескіндер әдісі) және абсолюттік калибровка әдістерімен («бұрыш-азот») алынған атмосфералық озон спектрлері келтірілген. Кескіндер әдісін пайдаланғанда тропосфералық әлсіреудің төменделген нәтижелері алынды. Бұл стратосфералық деңгейлерде озон концентрациясының төмендеу нәтижелерін алуға әкеледі. Ал MLS AURA серіктес және РМС-001 жер бетіндегі құралдардың деректері бойынша абсолюттік калибровка әдісін қолданғанда қанағатарлық сәйкестігін (5% мөлшерінде) көрсетті.

Гетеродин шуыл модуляциясымен және кіріс рупордан сәулеленумен байланысты паразиттік (жұқпалы) сигналдың деңгейін азайтуға бағытталған бір қатар эксперименттер нәтижелері келтіріген.

THE RESULTS OF THE OZONE LAYER SURFACE OBSERVATIONS ON DIFFERENT CALIBRATIONS

B.B. Sayakbaeva

The results of the atmosphere ozone spectra were obtained by calibration method of the ozone level intensity (“cut” method) and by absolute (“angle-nitrogen”) method. At using a “cut” method were obtained values of tropospheric attenuation that resulted in obtaining underestimated values of the ozone concentration on stratospheric layers. At the same time satellite MLS AURA data and data, obtained with surface instrument RMS-001 at absolute calibration method showed satisfactory coincidence (within 5%).

The results are also set forth in this article of experimental work on reduction of “parasite” signals level connected with modulation and receiving of emitted through the input horn heterodyne noises.