

Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Т.О.

МОДЕРНИЗАЦИЯ РАДИОСПЕКТРОМЕТРА RMS-001 И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЗОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ОЗОнового СЛОЯ 2009 ГОДА

A.T. Orozobakov, B.B. Sayakbaeva, T.O. Orozobakov

MODERNIZATION OF THE RADIOSPECTROMETER RMS-001 AND THE RESULTS OF THE OZONE LAYER SEASONAL OBSERVATIONS FOR YEAR 2009

УДК: 621.372:551.508.8

Представлены усовершенствования блок-схемы радиоспектрометра RMS-001, с целью повышения линейности тракта. По результатам сезонных наземных наблюдений озонного слоя показаны сопоставления их со спутниковыми данными. Видно, что измерения по атмосферной калибровке значительно отличаются от абсолютных. Хотя по абсолютной калибровке просматривается удовлетворительное согласование их со спутниковыми данными. Несмотря на различие, данные этих одновременных измерений иллюстрируют тенденцию понижения содержания озона от весны к осени в стратосфере на всех уровнях.

Block schemes of the radiospectrometer RMS-001 were improved in order to a path linearity increase. The seasonal surface observations data of the ozone layer were compared with satellite data. It became obvious that the measurements on atmospheric calibration significantly differ from the absolute measurements, though on the absolute calibration their satisfactory agreement with satellite data is observed. In spite of difference, the data of these simultaneous measurements show a trend of the ozone content decrease from spring to autumn in stratosphere at all levels.

Проведенная в апреле 2009 года модернизация RMS-001, в рамках международного проекта KR-1527, позволила существенно повысить достоверность измерения профиля линии озона за счет вывода части блоков тракта промежуточной частоты на более линейный участок амплитудной характеристики [1,2]. Однако дальнейшие измерения показали, что некоторая нелинейность все равно осталась, наиболее вероятное место ее возникновения, по версии изготовителей приборов – УПЧ или блок селекции каналов (БСК).

В связи с этим были усовершенствованы блок-схемы радиоспектрометра RMS-001. На Рис.1, Рис.2 приведены фрагменты блок-схемы RMS-001 до модернизации в апреле и после нее. Целью изменения структуры тракта ПЧ является повышение линейности тракта за счет снижения уровня сигнала в выходных каскадах УПЧ, блоке селекции каналов и усилительно-преобразовательных блоках ПЧ2/1к и ПЧ2/2к.

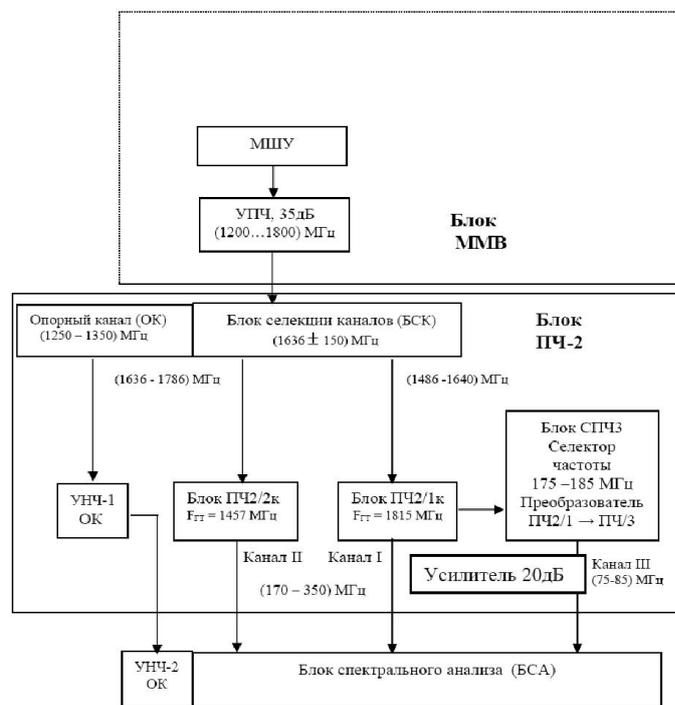


Рис. 1. Фрагмент блок-схемы тракта ПЧ RMS-001 до модернизации.

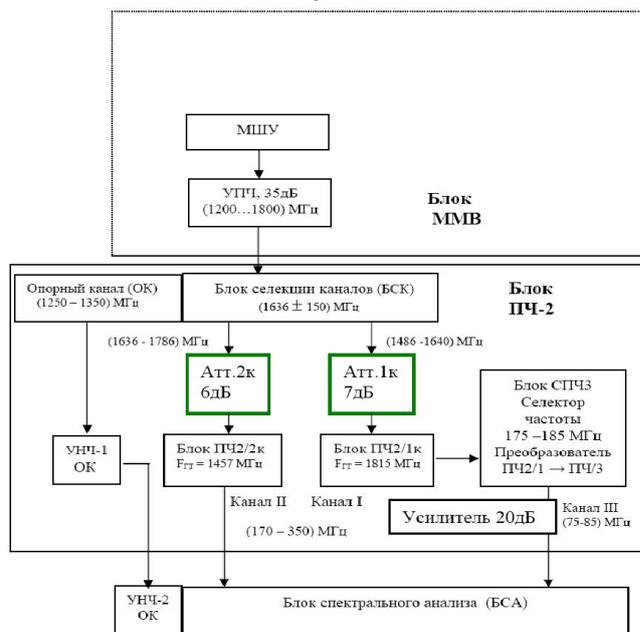


Рис. 2. Фрагмент блок-схемы тракта ПЧ RMS-001 после модернизации.

По результатам сезонных наблюдений, проведенных в 2009 году, было выполнено сопоставление данных измерения интегрального содержания озона в высотном интервале (20 – 50) км –  $N(20, 50)$ , полученных с помощью наземного и орбитального приборов. В случае наземного микроволнового зондирования эта величина вычислялась интегрированием восстановленного в результате решения обратной задачи высотного профиля абсолютной концентрации озона с последующим выражением ее в единицах Добсона (1 ДЕ = 1 DU =  $2.69 \cdot 10^{20}$  молекул/м<sup>2</sup>). Спутниковые результаты были обработаны в соответствии с методикой, описанной в [4]. Так как в [3] данные о количестве О<sub>3</sub> приводятся в единицах отношения смеси этого газа с воздухом  $f$  на вертикальной сетке атмосферного давления  $p$ , то интегральное содержание озона на сетке высот  $N(z_1, z_2)$  пересчитывалось на сетку давлений следующим образом:

$$N(z_1, z_2) = N(p_2, p_1) = \frac{A}{Mg} \int_{p_2}^{p_1} f(p) dp, \quad (1)$$

где  $A$  - число Авогадро,  $M$  - эффективный молекулярный вес воздуха,  $g$  - ускорение свободного падения.

Как и в [4] были использованы базисные функции распределения  $f$  на сетке  $\log_{10} p$  в виде треугольной зависимости. Однако в расчетах была взята сетка давлений, состоящая не из 12 уровней на декаду, а из 6 уровней на декаду, так как именно в таком виде представлены данные о количестве озона в [3]. В этом случае логарифмическая шкала давлений, которая является вертикальной координатой, выглядит следующим образом:

$$\log_{10} p_j - \log_{10} p_{j+1} = \frac{1}{6} \quad (2)$$

В результате окончательное выражение для расчета интегрального содержания озона:

$$N(20, 50) = N(p_{50}, p_{20}) = 8.24 \times 10^{25} \sum_j f_j p_j + 4.71 \times 10^{25} f_- p_- + 3.60 \times 10^{25} f_+ p_+ \quad (3)$$

Здесь  $p_{50}$  и  $p_{20}$  - уровни давлений, соответствующие высотам 50 км (~ 1 hPa) и 20 км (~ 46.4 hPa) соответственно,  $f_j$  - относительная концентрация О<sub>3</sub> на сетке давлений  $p_j$ , фиксированные уровни давления  $p_j$  приведены в hPa. Два последних слагаемых в (3) учитывают взвешенный вклад озона от нижней части

следующего уровня (0.681 hPa), расположенного выше 1 hPa и вклад озона от верхней части уровня (~ 68.1 hPa), расположенного ниже 46.4 hPa. Величина  $N(20, 50)$  в (3) будет определять количество молекул озона в столбе сечением 1 м<sup>2</sup> высотой от 20 до 50 км, т.е. в единицах молекул/м<sup>2</sup>. Далее для сопоставления ее приводят к единицам Добсона (DU).

На Рис.3 приведены результаты расчета интегрального содержания озона в слое (20 – 50) км, полученные на основе измерений в 2009 году с поверхности Земли и из космоса.

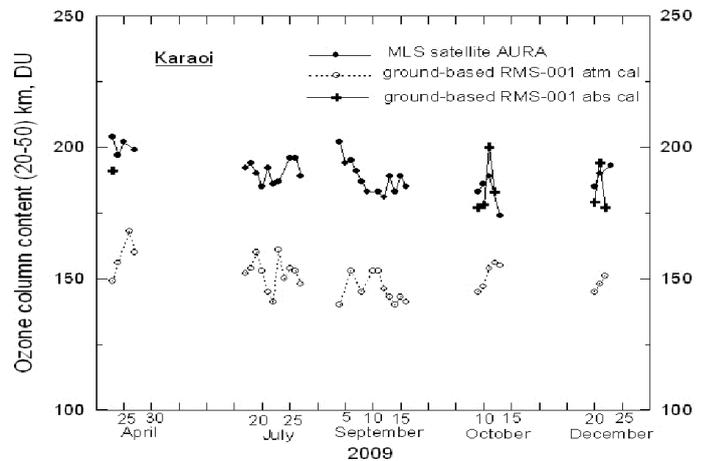


Рис. 3. Сравнение оценок интегрального содержания озона в интервале высот 20-50 км, полученных разными методами.

Полыми кружками и штриховой линией обозначены наземные данные с использованием калибровки по методу атмосферных разрезов, крестами и сплошной линией обозначены те же наземные данные, но с использованием абсолютной калибровки. Заполненными кружками отмечены данные спутникового прибора MLS. Видно, что наблюдается довольно хорошее совпадение наземных результатов, полученных с использованием абсолютной калибровки, с данными MLS.

Как и ранее, существенная недооценка количества озона зарегистрирована в наземных наблюдениях по методике атмосферных разрезов. По-видимому, в этой методике имеется определенный недостаток, который связан с использованием в ней предположения модели однородной в пространстве атмосферы. Это предположение часто не выполняется, особенно в условиях сильной облачности, мощных вертикальных потоков

воздушных масс, которые могут наблюдаться над обширной водной поверхностью озера Иссык-Куль и вблизи горных рельефов, которые окружают район наблюдений. Эти явления могут существенно повлиять на однородность тропосферы, в результате чего условия распространения радиоволн будут различными для вертикального и наклонного лучей. Как известно, в условиях однородной атмосферы оптические длины пути для этих лучей связаны законом секанса зенитного угла, который в условиях возмущенной атмосферы будет нарушаться, приводя к ошибкам измерения атмосферного ослабления и в конечном итоге к ошибкам определения содержания озона. В связи с этим, дальнейшие наземные измерения желательно проводить с использованием абсолютной калибровки.

С другой стороны надо обратить внимание на следующее обстоятельство. Наблюдаемое отличие наземных и спутниковых результатов на 40 км и 50 км и их совпадение на 30 км (см. Рис. 4) свидетельствует об искажении формы линии  $O_3$ . Предполагаемые дальнейшие меры по модернизации входного тракта радиометра и гетеродина позволяют надеяться на улучшение качества принимаемого спектра излучения озона и на получение более достоверных данных о количестве озона в стратосфере над районом наблюдения.

А также в целях проверки качества получаемых при измерениях данных планируется провести одновременные (или, по крайней мере, при сходных погодных условиях) измерения линий прибором РМС-001 и мобильным прибором ИПФ РАН, для чего мобильный прибор планируется доставить в обсерваторию на время проведения измерений.

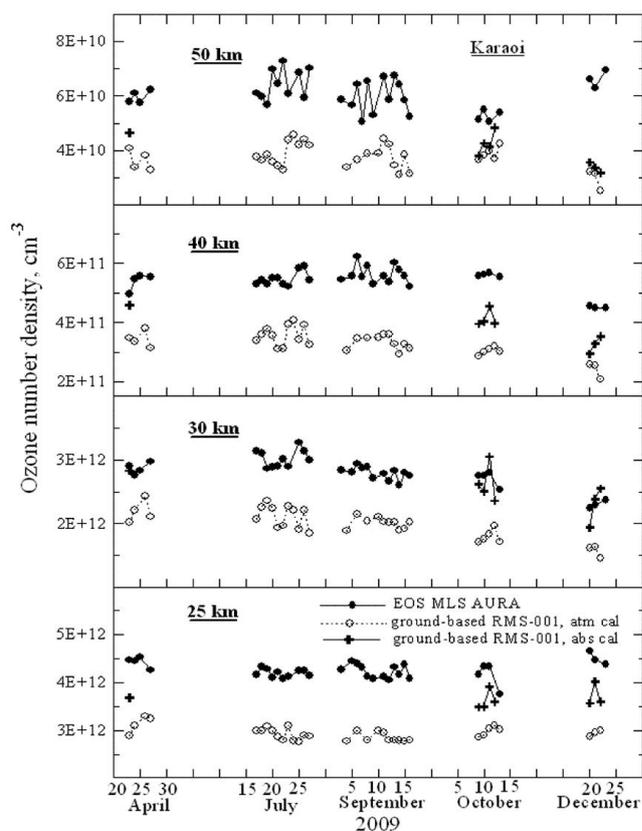


Рис. 4. Оценки содержания озона на разных высотах в районе станции Караой по данным измерений наземным прибором РМС-001 (для разных методов калибровки) и спутниковым инструментом EOS MLS AURA.

Итак, по результатам сезонных измерений установлено, что наземный прибор при атмосферной калибровке недооценивает содержание озона по сравнению со спутниковым инструментом. Так, на высоте 25км эта недооценка составляет (4-19)%, на 30км - (7-8) %, на 40км - (8-28)% и на 50 км - (10-40)%. Хотя по абсолютной калибровке просматривается удовлетворительное согласование. Несмотря на различие, данные этих одновременных измерений иллюстрируют тенденцию понижения содержания озона от весны к осени в стратосфере на всех уровнях.

#### Литература

1. Т.О.Орозобаков, А.Г.Кисляков, А.Т.Орозобаков и др. «Мониторинг озонового слоя Земли в миллиметровом диапазоне длин волн в Центральноазиатском регионе» // Известия НАН КР, 2008/1, С. 44-53, Бишкек.
2. А.Т.Орозобаков, Б.Б.Саякбаева, Т.О.Орозобаков «Измерения высотного распределения стратосферного озона на миллиметровых радиоволнах» // Труды Международной конференции по распространению упругих и упругоупругих волн ..., С. 68-70, Бишкек, 2009.
3. <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?tree=project&project=MLS>
4. Livesey N.J., Van Snyder W. EOS MLS Retrieval Processes Algorithm Theoretical Basis. Version 2.0, July 19, 2004. JPL D-16159/CL #04-2043. EOS MLS DRL 601 (part 3). ATBD-MLS-03.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Каримов К.А.