

УДК 551.510.4

## СРАВНЕНИЕ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА

*Н.С. Иванова*

*Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный  
oot@cao-rhms.ru*

В статье представлены результаты сравнения наземных и спутниковых результатов измерения общего содержания озона. Сравнение проводилось по данным приборов Dobson, Brewer, M-124 и спутниковой аппаратуры ОМІ за период с мая по август 2016 г. Целью сравнения являлась оценка качества данных озонметров M-124. Полученные результаты позволяют выбрать наилучшие станции для проведения испытаний нового эмпирического метода расчета ультрафиолетового индекса по данным отечественной озонметрической сети. Спутниковые результаты измерений ОСО в среднем занижены по сравнению с результатами измерений ОСО большинством наземных приборов всех типов (Dobson, Brewer, M-124).

*Ключевые слова:* общее содержание озона, фильтровый озонметр, спектрофотометр, спутниковая аппаратура ОМІ.

Сравнения наземных и спутниковых результатов измерения общего содержания озона (ОСО) неоднократно проводились разными исследователями [1–10] с целью оценить их преимущества и недостатки для усовершенствования алгоритмов обработки спутниковой информации и корректировки наземных данных. Представленное в этой работе сопоставление наземных и спутниковых результатов измерения общего содержания озона, необходимо было для разработки и проверки нового эмпирического метода расчета ультрафиолетового индекса (УФИ), в котором одним из главных входных параметров является общее содержание озона.

Для разработки метода можно воспользоваться высокоточными данными зарубежных озонметрических станций, оборудованных наземными спектрофотометрами Dobson или Brewer, но для применения метода на территории Российской Федерации необходимо предварительно провести независимые испытания на базе данных отечественных фильтровых озонметров M-124, которые в оперативном режиме измеряют ОСО и ультрафиолетовую облученность земной поверхности.

Метод расчета УФИ разрабатывается для предупреждения населения об опасных для здоровья уровнях ультрафиолетовой облученности,

которые могут наблюдаться на территории России только в теплое время года. Выполненное в этой работе сравнение наземных и спутниковых результатов измерения ОСО проводилось по данным в период май – август 2016 года.

### Сравнение результатов измерения ОСО спутниковой аппаратурой OMI с данными приборов Dobson и Brewer

Для сравнения результатов измерения среднесуточных значений ОСО спутниковой аппаратурой OMI (<http://avdc.gsfc.nasa.gov>) с данными приборов Dobson и Brewer использованы данные зарубежных станций в умеренных широтах (табл. 1), а также прибора Brewer в г. Обнинске Калужской области (<http://woudc.org/archive>).

**Таблица 1.** Список озонметрических станций, данные которых использовались для сравнения

Станция	Страна	Индекс	Прибор	Широта с. ш.	Долгота в. д.	Высота, м
Arosa	Швейцария	035	Dobson, Beck, 062	46,78	9,68	1840
Hohenpeissenberg	Германия	099	Brewer, MKII, 010 Dobson, Beck, 104	47,80	11,02	975
Hradec Kralove	Чехия	096	Brewer, MKIII, 184 Dobson, Beck, 074	50,18	15,84	285
Norrkoeping	Швеция	279	Brewer, MKIII, 128	58,58	16,15	43
Обнинск	Россия	307	Brewer, MKII, 044	55,10	36,61	100
Sapporo	Япония	012	Dobson, Beck, 126	43,06	141,33	26
Uccle	Бельгия	053	Brewer, MKII, 016 Brewer, MKIII, 178	50,80	4,35	100
Vindeln	Швеция	284	Brewer, MKII, 006 Dobson, Beck, 030	64,24	19,77	225
Архангельск	Россия	271	M-124	64,58	40,50	8
Большая Елань	Россия	112	M-124	46,92	142,73	22
Владивосток	Россия	016	M-124	43,12	131,90	80
Воейково	Россия	042	M-124	59,97	30,30	74
Иркутск	Россия	085	M-124	52,26	104,35	467
Красноярск	Россия	143	M-124	56,00	92,88	137
Мурманск	Россия	117	M-124	68,97	33,05	46
Нагаево	Россия	118	M-124	59,58	150,78	118
Николаевск-на-Амуре	Россия	274	M-124	53,15	140,70	46
Омск	Россия	120	M-124	54,93	73,40	129
Петропавловск-Камчатский	Россия	130	M-124	52,97	158,75	78
Печора	Россия	129	M-124	65,12	57,10	61
Томск	Россия	481	M-124	56,48	85,05	191
Феодосия	Россия	086	M-124	45,03	35,38	26
Якутск	Россия	123	M-124	62,08	129,75	98

Качество спутниковых результатов измерения ОСО для выбранных станций будем характеризовать тремя параметрами: средним значением разности спутниковых и наземных данных; стандартным отклонением и среднеквадратическим отклонением разности, рассчитанными для каждого прибора по данным за май – август 2016 г., для станций Hohenpeissenberg и Sapporo – по данным за май – июль 2016 г. (табл. 2). Следует отметить, что на станции Uccle измерения ОСО в мае и июне 2016 г. проводились прибором Brewer, МКII, 016, а в июле и августе прибором Brewer, МКIII, 178.

**Таблица 2.** Разность среднесуточных значений ОСО (ед.Д), измеренных спутниковой аппаратурой OMI и наземными приборами Dobson и Brewer

Станция	Прибор	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднеквадратич. отклонение
Arosa	Dobson, Beck, 062	0,8	6,4	6,4
Hohenpeissenberg	Dobson, Beck, 104	-0,8	5,8	5,7
Hradec Kralove	Dobson, Beck, 074	-4,0	5,8	7,0
Sapporo	Dobson, Beck, 126	-7,6	10,4	12,8
Vindeln	Dobson, Beck, 030	-4,7	7,1	8,5
Hohenpeissenberg	Brewer, МКII, 010	-0,3	4,0	4,0
Hradec Kralove	Brewer, МКIII, 184	-3,4	7,5	8,2
Norrkoeping	Brewer, МКIII, 128	-3,4	5,9	6,8
Обнинск	Brewer, МКII, 044	-0,9	6,0	6,0
Uccle	Brewer, МКII, 016 Brewer, МКIII, 178	-3,2	6,7	7,3
Vindeln	Brewer, МКII, 006	0,4	6,0	6,0

В табл. 2 видно, что спутниковые данные измерений ОСО с учетом всех погрешностей измерения хорошо согласуются с высокоточными измерениями наземной аппаратурой.

Особый интерес представляет сравнение данных измерений ОСО высокоточными приборами Dobson и Brewer, установленными на одной станции. Результаты сравнения на трех станциях в Германии, Чехии и Швеции приведены в табл. 3.

**Таблица 3.** Разность среднесуточных значений ОСО (ед.Д.), измеренных приборами Dobson и Brewer

Станция	Приборы	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднеквадратич. отклонение
Hohenpeissenberg	Brewer, МКII, 010 Dobson, Beck, 104	-1,1	3,9	4,1
Hradec Kralove	Brewer, МКIII, 184 Dobson, Beck, 074	-2,0	3,1	3,7
Vindeln	Brewer, МКII, 006 Dobson, Beck, 030	-5,5	8,1	9,7

Проведенные сравнения данных спутниковых измерений ОСО и высокоточных измерений ОСО наземными приборами (табл. 2 и 3) позволяют сделать вывод, что **измерения ОСО аппаратурой ОМІ** достаточно точны и могут быть использованы для последующей оценки качества работы озонметров М-124, установленных на озонметрической сети Росгидромета.

### **Сравнение измерений ОСО спутниковой аппаратурой ОМІ с данными измерений ОСО озонметрами М-124**

На втором этапе проведено сравнение среднесуточных значений ОСО, полученных по результатам измерений спутниковой аппаратурой ОМІ, со среднесуточными значениями ОСО, ежедневно поступающими в Центральную аэрологическую обсерваторию с отечественных озонметрических станций Росгидромета, оборудованных озонметрами М-124.

Учитывая, что основной целью данной работы является отбор станций для испытания нового метода расчета ультрафиолетового индекса, сравнение спутниковых и наземных данных об ОСО проводилось для тех станций, на которых озонметры дополнительно оборудованы насадками для измерения ультрафиолетовой радиации (табл. 1).

Фильтровые озонметры М-124 способны измерять ОСО двумя способами: по зениту неба и по диску Солнца, когда его можно наблюдать; поэтому сравнение результатов измерения ОСО приборами М-124 проводилось раздельно.

Анализ проводился для периода май – август 2016 г.; количественные показатели сравнений приведены в табл. 4. Установлено, что для всех станций (кроме ст. Нагаево) среднеквадратические значения разностей между измерениями прибором М-124 и спутниковыми данными укладываются в пределы, определяемые погрешностями приборов и спутниковой аппаратуры.

Поскольку метод измерения ОСО прибором М-124 по диску Солнца точнее метода его измерения по зениту неба, для всех станций, кроме Владивостока, среднеквадратические значения разностей ОСО, измеренного по диску Солнца, и спутниковой аппаратурой меньше соответствующих разностей ОСО, измеренного по зениту неба и спутниковой аппаратурой. Для некоторых станций (например, Томск, Воейково, Печора) это различие достигает и даже превышает 50 %.

Для всех станций, кроме Николаевска-на-Амуре, средние значения разностей ОСО, измеренного по диску Солнца и спутниковой аппаратурой, также меньше соответствующих разностей ОСО, измеренного по зениту неба и спутниковой аппаратурой. Более того, на трех станциях средние значения ОСО, измеренного по диску Солнца,

меньше спутниковых значений, в то время как средние значения ОСО, измеренного по зениту неба, на всех станциях превышают спутниковые значения.

**Таблица 4.** Разность среднесуточных значений ОСО (ед.Д.), измеренных приборами М-124 и спутниковой аппаратурой ОМІ

Станция	Число измерений		Среднее значение		Стандартное отклонение		Среднеквадратич. отклонение	
	диск	зенит	диск	зенит	диск	зенит	диск	зенит
Архангельск	67	99	12,8	16,7	12,4	13,1	17,7	21,1
Большая Елань	44	73	14,5	20,6	16,4	16,9	21,7	26,5
Владивосток	48	82	-6,4	10,2	20,6	16,7	21,3	19,5
Воейково	50	96	6,6	14,3	10,4	11,3	12,2	18,2
Иркутск	74	90	-4,5	2,9	16,2	19,5	16,7	19,6
Красноярск	40	101	12,3	17,1	8,3	13,4	14,8	21,7
Мурманск	42	89	11,5	18,2	8,5	10,5	14,3	21,0
Нагаево	37	91	30,5	35,6	9,6	13,5	32,0	38,1
Николаевск-на-Амуре	9	58	8,9	7,5	11,8	18,5	14,2	19,6
Омск	77	95	12,6	14,3	8,8	10,9	15,3	18,0
Петропавловск-Камчатский	46	85	-5,0	5,0	11,7	13,0	12,6	13,9
Печора	49	101	11,9	17,3	5,4	8,9	13,1	19,4
Томск	76	103	6,4	14,1	8,6	15,3	10,7	20,8
Феодосия	80	88	12,1	16,9	11,8	11,7	16,8	20,5
Якутск	41	101	6,9	7,2	9,3	11,9	11,5	13,8

Полученные результаты позволяют выбрать наилучшие станции для проведения испытаний метода расчета УФІ по данным отечественных озонметров М-124.

Для наглядности на рис. 1 и 2 представлены результаты измерений ОСО на станциях Hradec Kralove и Воейково разными измерительными средствами.

### Выводы

По результатам анализа данных спутниковых и наземных измерений ОСО в мае – августе 2016 г. установлено, что различия между спутниковыми данными и данными приборов Dobson и Brewer существенно меньше, чем их расхождения с данными приборов М-124, установленными на озонметрической сети Росгидромета.

Спутниковые результаты измерений ОСО в среднем занижены по сравнению с результатами измерений ОСО большинством наземных приборов всех типов (Dobson, Brewer и М-124).

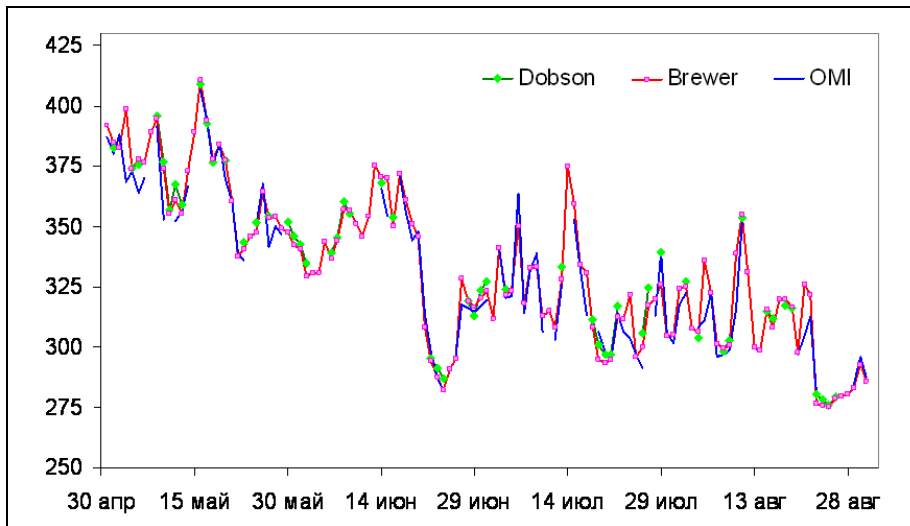


Рис. 1. Общее содержание озона (ед.Д.) на станции Hradec Kralove по измерениям приборами Dobson, Brewer и аппаратурой OMI в 2016 г.

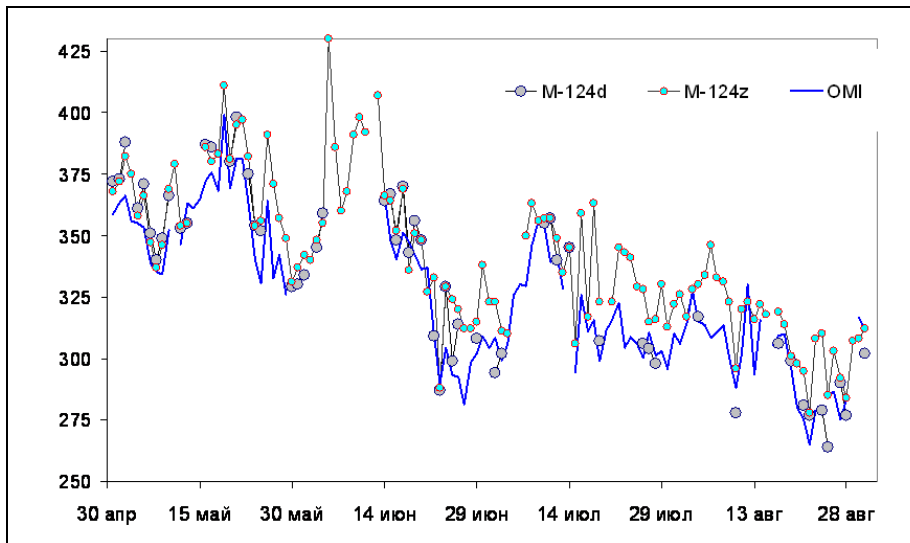


Рис. 2. Общее содержание озона (ед.Д.) на станции Воейково, измеренное аппаратурой OMI, приборами M-124 по диску Солнца (M-124d) и по зениту неба (M-124z) в 2016 г.

## Список использованных источников

1. Израэль Ю.А., Белокриницкая Л.М., Дворецкая И.В., Дорохов В.М., Иванов К.А., Крученицкий Г.М., Шепелев Д.В., Юсипов Т.А. Сравнение наземных и спутниковых измерений общего содержания озона // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 6. С. 85-98.
2. Balis D. *et al.* Ten years of GOME/ERS2 total ozone data – The new GOME data processor (GDP) version 4: 2. Ground-based validation and comparisons with TOMS V7/V8 // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. D07307. doi:10.1029/2005JD006376.
3. Balis D., Kroon M., Koukouli M.E., Brinksma E.J., Labow G., Veefkind J.P., McPeters R.D. Validation of Ozone Monitoring Instrument total ozone column measurements using Brewer and Dobson spectrophotometer ground-based observations // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. D24S46. doi:10.1029/2007JD008796.
4. Bramstedt K., Gleason J., Loyola D., Thomas W., Bracher A., Weber M., Burrows J.P. Comparison of total ozone from the satellite instruments GOME and TOMS with measurements from the Dobson network 1996–2000 // *Atmos. Chem. Phys.* 2003. Vol. 3. P. 1409-1419.
5. Fioletov V.E., Kerr J.B., Hare E.W., Labow G.J., McPeters R.D. An assessment of the world ground-based total ozone network performance from the comparison with satellite data // *J. Geophys. Res.* 1999. Vol. 104. P. 1737-1747.
6. Fioletov V.E., Labow G.J., Evans R. *et al.* Performance of the ground-based total ozone network assessed using satellite data // *J. Geophys. Res.* 2008. Vol. 113. D14313. doi:10.1029/2008JD009809.
7. Fleig A.J., Bhartia P.K., Wellemeyer C.G., Silberstein D.S. An assessment of the long-term drift in SBUV total ozone data, based on comparison with the Dobson network // *Geophys. Res. Lett.* 1986. Vol. 13. P. 1359-1362.
8. McPeters R.D., Labow G.J. An assessment of the accuracy of 14.5 years of Nimbus 7 TOMS Version 7 ozone data by comparison with the Dobson Network // *Geophys. Res. Lett.* 1996. Vol. 23. P. 3695-3698.
9. Vanicek K. Differences between ground Dobson, Brewer and satellite TOMS-8, GOME-WFDOAS total ozone observations at Hradec Kralove, Czech // *Atmos. Chem. Phys.* 2006. Vol. 6. P. 5163-5171.
10. Weber M., Lamsal L.N., Coldewey-Egbers M., Bramstedt K., Burrows J.P. Pole-to-pole validation of GOME WFDOAS total ozone with groundbased data // *Atmos. Chem. Phys.* 2005. Vol. 5. P. 1341-1355.

## SUMMARIES

**Comparison of ground and satellite total ozone measurements obtained /** Ivanova N.S. // *Proceedings of the Hydrometcentre of Russia*. 2017. Vol. 365. P. 94-100.

This paper presents the results of comparing ground and satellite measurements of total ozone. Compared were the data of ground-based Dobson, Brewer, M-124 and satellite-borne OMI instruments for the period May-August 2016. This comparison was intended to assess the quality of data from domestic M-124 ozonometers. The results obtained permit selecting stations that fit the best for testing a new empirical method of calculating ultraviolet index from the data of domestic ozonometrical net. Satellite total ozone measurement data, on the average, underestimate the ozone content compared to that measured by most ground-based instruments of any type (Dobson, Brewer, M-124).

*Keywords:* total ozone, filter ozonometer, spectrophotometer, satellite-borne OMI instrument.