

ФИЗИКА ИЛИМДЕРИФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИPHYSICAL SCIENCESDOI: 10.26104/NNTIK.2022.32.18.001*Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Э.У.***АТМОСФЕРАЛЫК КАЛИБРОВКА БОЮНЧА МИЛЛИМЕТРЛИК ТОЛКУНДАРДАГЫ
ОЗОНДУН КОНЦЕНТРАЦИЯСЫН (АРАЛАШМАСЫН) ӨЛЧӨӨ***Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Э.У.***ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ
ПО АТМОСФЕРНОЙ КАЛИБРОВКЕ***A. Orozobakov, B. Sayakbaeva, E. Orozobakov***OZONE MEASUREMENTS AT MILLIMETER WAVES USING
ATMOSPHERIC CALIBRATION**

УДК: 621.372:551.508.8

Бул макалада профессор Т.Орозобаков атындагы радио-физикалык обсерваториянын атмосфералык калибровка учурундагы жыштыктардын курулуштары боюнча изилдөөлөрдүн жыйынтыктары көрсөтүлгөн. Орточо атмосферанын өзгөчөлүктөрүнө радиофизикалык өлчөөлөр жүргүзүлүп, андан ары Борбордук Азия аймагынын үстүндөгү стратосфералык озон концентрациясынын убактылуу вариацияларынын аныкталышы кыскача берилди. Изилдөөнүн ыкмасы Жердин үстүнкү бетинен болгон пассивдүү зондирлөөгө, резонанстык жыштыгы 110836 МГц.ге жакын болгон, ушул газдын айлантма спектринин линияларынын ичинен бирөөсүнүн чет жактарындагы атмосфералык озондун молекулаларынын жылуулук радио-нурлануусуна жараша болду. Озондун бийиктик бөлүнүшүнө жүргүзүлгөн бир катар микротолкундуу эпизоддук өлчөөлөрдүн жана атмосфералык калибровка боюнча эксперименттердин жыйынтыктары келтирилген. Азырынча «зенит» жүктөр боюнча маалыматтарга бир топ эле жетпейт. Абсолюттук калибровка боюнча байкоолордун жыйынтыктары өткөн жылдардагыдай эле, обсерватория жер үстүнө өлчөө жүргүзгөн аймактагы озондун бөлүштүрүлүшүнө туура келет.

Негизги сөздөр: озон катмары, айлануу, озондун концентрациясы, миллиметрлик толкундар, нымдуулук, абсолюттук калибровка, жыштык.

В статье представлены результаты исследований радиофизической обсерватории имени профессора Т.Орозобакова по отстройкам частоты при атмосферных калибровках. Радиофизические измерения особенностей средней атмосферы, с последующим определением временных вариаций концентрации стратосферного озона над регионом Центральной Азии представлены вкратце. Метод исследований заключался в пассивном зондировании с поверхности Земли, теплового радиоизлучения молекул атмосферного озона в окрестности одной из линий вращательного спектра этого газа, резонансная частота которого близка 110836 МГц. Приведены результаты ряда микроволновых эпизодических измерений высотного распределения озона и экспериментов по атмосферной калибровке. Пока по «зениту» концентрации озона значительно уступают данным по эталонным нагрузкам. По абсолютной калибровке, как и в прошлые годы, результаты наблюдений соответствуют распределению озона над регионом наземных измерений обсерватории.

Ключевые слова: озонный слой, вариация, концентрация озона, миллиметровые волны, влажность, абсолютная калибровка, частота.

The article presents the results of studies of the radiophysical observatory named after professor T.Orozobakov on frequency detuning during atmospheric calibrations. Radiophysical measurements of the features of the middle atmosphere, followed by the determination of temporal variations in the concentration of stratospheric ozone over the region of Central Asia are presented in brief. The research method consisted in passive sounding from the Earth's surface of the thermal radio emission of atmospheric ozone molecules in the vicinity of one of the lines of the rotational spectrum of this gas, the resonant frequency of which is close to 110836 MHz. The results of a series of episodic microwave measurements of the altitude distribution of ozone and experiments on atmospheric calibration are presented. So far, at the «zenith», ozone concentrations are significantly inferior to data on reference loads. By absolute calibration, as in previous years, the results of observations correspond to the distribution of ozone over the region of ground-based measurements of the observatory.

Key words: ozone layer, variation, ozone concentration, millimeter waves, humidity, absolute calibration, frequency.

С проблемами истощения озонового слоя вплотную стали заниматься только в 80-х годах прошлого века. После обнаружения озоновой дыры над Антарктидой были приняты ряд протоколов, конвенций, международных соглашений и т.д. по проблемам озонового слоя и вредных хлор-фторуглеродистых и других выбросов [1-3]. Не смотря на кажущееся восстановление озонового слоя, хотелось бы отметить, что мировое сообщество убеждено в продолжении усилий по сохранению озонового слоя. Особенно встревожило всех появление озоновой дыры над Арктикой, подобной всем известной дыре над южным полюсом.

К концу марта прошлого года над Северным полюсом на высоте 18 километров измерительные аэростаты NASA [14] зафиксировали падение содержания озона на 90 процентов. Это привело к образованию озоновой дыры – области, внутри которой содержание озона находилось ниже отметки в 220 еди-

ниц Добсона. По данным многолетних наблюдений в [4] это событие явилось первым появлением настоящей озоновой дыры над Арктикой. Такое явление – настоящая редкость для Северного полюса, где атмосферные характеристики – переменные температуры

и редкое образование перламутровых облаков – не способствуют активному разрушению озона, в отличие от Южного полюса, где образование озоновых дыр происходит ежегодно и носит сезонный характер.

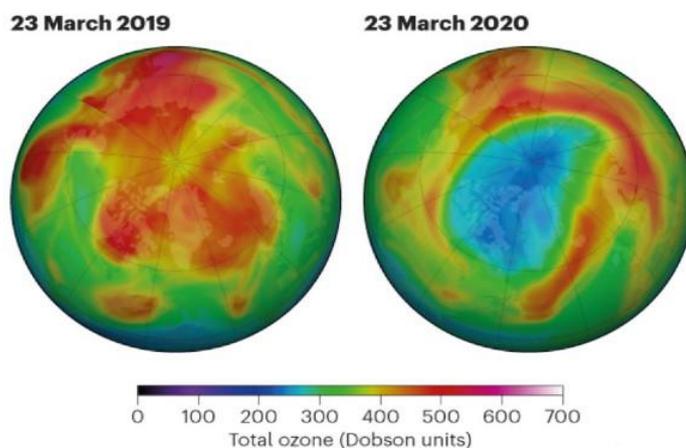


Рис. 1. Сравнение содержания озона (в единицах Добсона) в марте 2019 и в марте 2020 NASA Ozone Watch.

Ученые ожидали, что с приходом весны концентрация озона начнет восстанавливаться, и их прогнозы сбылись: наблюдения со спутника NASA Aura [5] показали, что запас активного хлора, разрушающего стратосферный озон, над Арктикой уже исчерпан. В то же время происходит рост температур воздуха и ослабление полярного вихря, которое позволяет проникнуть обогащенному озоном воздуху в полярные широты. Служба мониторинга атмосферы Коперник [6] заявила, что истощение озонового слоя уже прекратилось, и он начал восстанавливаться. Дыры уже в Арктике, подобно Антарктической уже нет. Но нет гарантий, что она не появится снова.

В связи с рассматриваемой темой по дистанционному зондированию атмосферы на радиоволнах можно отметить исследования, выполняемые в ФИАНе (Физический Институт Академии наук). С 1987 года совместно с обсерваториями Франции, Швеции и Германии были получены детальные картины высотно-временного распределения озона над Москвой [7-9]. Ими были выявлены в холодные сезоны длительные, устойчивые истощения озона, связанные со смещениями полярного стратосферного вихря к Европе под влиянием динамических процессов в стратосфере Северного полушария. В последние годы атмосферный озон измеряли на мм-волнах примерно в 20-ти пунктах мира. В России измерения на мм-волнах кроме ФИАНа проводятся и в Нижнем Новгороде, Апатитах [10,11].

Наши работы [12-17] и результаты данной статьи в основном опирались на исследования российских ученых [18,19]. Эффективность радиофизических методов исследования состава атмосферы с поверхности Земли проиллюстрирована в данной работе результатами дистанционного зондирования атмосферного озона на миллиметровых волнах в стратосфере и мезосфере, где молекулы озона играют ключевую роль в атмосферных процессах.

Ниже представлены некоторые результаты экспериментальных работ по приему, отстройке частоты за определенные дни. Целью экспериментов было достижение совпадения оцифрованных данных на мониторе по абсолютной калибровке с данными по атмосферной калибровке. Пока только измерения по абсолютной калибровке соответствуют спутниковым и другим наземным измерениям, разница 5-10%.

Первоначально, еще по проектам МНТЦ, были предусмотрены два варианта измерений на миллиметровых волнах высотного распределения озона над одним из регионов Средней Азии (рис. 2. (а, б)). По одному из них, по абсолютной калибровке, когда за эталонную нагрузку берется черное тело при температуре кипящего жидкого азота на данное время все вопросы сняты. По второму, по атмосферной калибровке, когда за эталонную нагрузку берется излучение зенита, с самого начала исследований в обсерватории были проблемы.



Рис. 2 а), б). Измерения по атмосферной калибровке (а), по абсолютной (б).

В таблице один представлены усреднённые данные высотных распределений озона по двум калибровкам за два часа измерений одного и того же дня прошлого года. Так выглядят окончательные результаты наших измерений. По атмосферной калибровке всегда общее содержание озона в столбе наших измерений оказывается на 20-35% меньше, чем по абсолютной. А значения по азоту разнятся от спутниковых на 5-8%, то есть не раз доказано верность измерений по азоту.

Таблица 1

Результаты измерений по различным калибровкам

Atmospheric Calibration		Absolute Calibration	
Altitude (km)	Ozone (DU)	Altitude (km)	Ozone (DU)
	$N_{max} = 4.372e+012$		$N_{max} = 3.051e+012$
	$H_{max} = 26.137$		$H_{max} = 25.537$
	$R = 0.266$		$R = 0.270$
20.0	2.396e+012	20.0	1.823e+012
21.0	2.835e+012	21.0	2.139e+012
22.0	3.279e+012	22.0	2.447e+012
23.0	3.693e+012	23.0	2.718e+012
24.0	4.038e+012	24.0	2.923e+012
25.0	4.274e+012	25.0	3.035e+012
26.0	4.371e+012	26.0	3.039e+012
27.0	4.315e+012	27.0	2.935e+012
28.0	4.115e+012	28.0	2.736e+012
29.0	3.797e+012	29.0	2.469e+012
30.0	3.397e+012	30.0	2.163e+012
31.0	2.958e+012	31.0	1.846e+012
32.0	2.514e+012	32.0	1.542e+012
33.0	2.095e+012	33.0	1.263e+012
34.0	1.716e+012	34.0	1.020e+012
35.0	1.386e+012	35.0	8.134e+011
36.0	1.107e+012	36.0	6.423e+011
37.0	8.762e+011	37.0	5.033e+011
38.0	6.888e+011	38.0	3.920e+011
39.0	5.384e+011	39.0	3.039e+011
40.0	4.190e+011	40.0	2.347e+011
41.0	3.250e+011	41.0	1.808e+011
42.0	2.514e+011	42.0	1.389e+011
43.0	1.941e+011	43.0	1.066e+011
44.0	1.496e+011	44.0	8.167e+010
45.0	1.152e+011	45.0	6.252e+010
46.0	8.858e+010	46.0	4.782e+010
47.0	6.808e+010	47.0	3.656e+010
48.0	5.230e+010	48.0	2.793e+010
49.0	4.016e+010	49.0	2.134e+010
50.0	3.082e+010	50.0	1.629e+010
51.0	2.365e+010	51.0	1.244e+010
52.0	1.815e+010	52.0	9.498e+009
53.0	1.392e+010	53.0	7.250e+009
54.0	1.068e+010	54.0	5.533e+009
55.0	8.191e+009	55.0	4.223e+009
56.0	6.282e+009	56.0	3.223e+009
57.0	4.817e+009	57.0	2.459e+009
58.0	3.694e+009	58.0	1.877e+009
59.0	2.833e+009	59.0	1.432e+009
60.0	2.172e+009	60.0	1.093e+009
(20-60)	=5.506e+018	(20-60)	=3.687e+018

В таблице два показаны непосредственно результаты измерений, отстройки частоты, до обработок, то есть окончательные показания приборов. Здесь также заметны значительные расхождения.

Таблица 2

Данные измерений после оцифровки (отстройка частоты)

22.07.2021					
10:12 - 10:17 atmos			9:53 - 9:57 azot		
Frequency(MHz)	Data	Error	Frequency(MHz)	Data	Error
-150.0	167.765402	0.345814	-150.0	190.119417	0.671045
-127.0	167.480535	0.367876	-127.0	190.022880	0.662997
-106.0	167.772026	0.375803	-106.0	190.985135	0.678934
-87.0	167.684789	0.469452	-87.0	191.350519	0.646572
-70.0	167.356831	0.420784	-70.0	192.189979	0.648920
-55.0	169.575084	0.484664	-55.0	193.502250	0.603138
-42.0	169.931259	0.539922	-42.0	193.632601	0.642491
-31.0	170.809998	0.603392	-31.0	194.539596	0.654870
-22.0	171.161089	0.490657	-22.0	194.236425	0.612698
-15.0	172.325979	0.555572	-15.0	195.688222	0.686086
-10.0	173.138227	0.487795	-10.0	196.441655	0.639722
-6.0	173.665910	0.450900	-6.0	197.651378	0.681660
-3.0	173.787302	0.585643	-3.0	197.459700	0.773550
-2.0	173.590176	0.632979	-2.0	198.017158	0.683984
-1.0	173.548968	0.744277	-1.0	198.771254	0.621415
0.0	174.921329	0.620791	0.0	198.534020	0.681433
1.0	174.865229	0.739953	1.0	198.884955	0.725857
2.0	174.225149	0.763213	2.0	197.827164	0.767782
3.0	173.156288	0.636630	3.0	198.042554	0.801249
6.0	172.647126	0.542983	6.0	197.258454	0.686986
10.0	172.197739	0.495631	10.0	196.587574	0.684023
15.0	172.506835	0.512186	15.0	195.594311	0.654823
22.0	172.660522	0.441755	22.0	195.962629	0.669838
31.0	172.860887	0.545609	31.0	195.209361	0.685395
42.0	172.212129	0.541880	42.0	193.389164	0.719302
55.0	170.429565	0.509784	55.0	192.851110	0.616791
70.0	169.437946	0.497682	70.0	192.582562	0.632763
87.0	170.858506	0.380598	87.0	193.453639	0.593361
106.0	169.644779	0.372760	106.0	192.551212	0.566352
127.0	168.944549	0.280403	127.0	192.690736	0.554550
150.0	170.121857	0.300520	150.0	192.676395	0.565335
-336.0	168.164096	0.309088	-336.0	189.875650	0.539782

Далее результаты измерений обрабатываются по программам усреднения и корректировок на тропосферное ослабление (табл. 3).

Результаты обработок после усреднений и корректировки на тропосферное ослабление

Data: 22.07.2021 Time: 9:3:14-9:57:41				Data: 22.07.2021 Time: 10:12:50-10:53:35			
azot				atmos			
6.49	0.08	0.0306	0.0004	6.02	0.13	0.0178	0.0004
6.16	0.09	0.0290	0.0005	6.00	0.16	0.0179	0.0005
5.80	0.09	0.0274	0.0005	5.98	0.14	0.0178	0.0004
5.47	0.09	0.0258	0.0005	5.44	0.14	0.0163	0.0004
5.06	0.06	0.0242	0.0003	5.07	0.10	0.0153	0.0003
4.02	0.06	0.0192	0.0003	4.09	0.10	0.0124	0.0003
3.49	0.06	0.0168	0.0003	3.71	0.10	0.0113	0.0003
3.25	0.06	0.0157	0.0003	3.27	0.10	0.0101	0.0003
2.61	0.06	0.0126	0.0003	2.74	0.09	0.0085	0.0003
1.64	0.06	0.0079	0.0003	1.98	0.10	0.0061	0.0003
1.39	0.05	0.0068	0.0003	0.87	0.09	0.0027	0.0003
0.39	0.05	0.0019	0.0003	-0.06	0.09	-0.0002	0.0003
0.55	0.05	0.0027	0.0002	0.16	0.08	0.0005	0.0003
0.19	0.04	0.0009	0.0002	-0.57	0.08	-0.0018	0.0002
-0.29	0.04	-0.0014	0.0002	-0.65	0.08	-0.0020	0.0002
0.00	0.05	0.0000	0.0002	0.00	0.08	0.0000	0.0002
198.08	0.05	0.3790	0.0002	164.06	0.08	0.2569	0.0002

Таблицы 2 и 3 мы специально представили здесь, до этого момента отсутствует человеческий фактор. Приборы, программы выдают существенную разницу в измерениях по разным калибровкам. Дальше при восстановлении профиля озона специально подтягивать линии друг к другу, мягко говоря, не корректно. Цель экспериментов было определить: не влияет ли облачность, время суток, влажность и т.д. на разницу показаний приборов по атмосфере и азоту. Попытки приподнять зеркала, добавить черные тела ожидаемых результатов не дали. Если считать, что приборы в основном, в принципе реагируют на излучения адекватно, в дальнейшем возможно надо либо корректно определить коэффициент корреляции, либо прием зенитного излучения подкорректировать.

Определение содержания озона над обсерваторией в стратосфере в пределах высот 20-60 км выполнялось методом микроволнового пассивного зондирования с помощью радиометрического спектрометра (РМС-001) миллиметрового диапазона, подробно описанного в статьях [12,13]. Он основан на измерении селективного теплового радиоизлучения в окрестности линии вращательного спектра атмосферного озона [14,16].

Профили высотного распределения озона определяются, по так называемым программам восстановления [16], методом подбора параметров заданной модели озонового слоя путем минимизации среднеквадратичных разностей измеренных спектров и рассчитанных по восстановленным профилям озона. По вероятному распределению озона, в форме «параболического» слоя (1) и методике

последовательных приближений, изменяя параметры слоя – концентрацию в максимуме N_m , высоту максимума Z_m и фактор убывания концентрации R , решается прямая задача (2) сближения экспериментального спектра $\Delta\tau_{oz}^e(v_i)$ к расчетному спектру $\Delta\tau_{oz}^c(v_i)$ как в [16]:

$$N_{oz}(z) = 4N_m \frac{\exp[(z - z_m)R]}{\{1 + \exp[(z - z_m)R]\}^2} \quad (1)$$

$$D = \sum_i [\Delta\tau_{oz}^c(v_i) - \Delta\tau_{oz}^e(v_i)]^2 = \min \quad (2)$$

Из условия равенства нулю производных функционала D по N_m , Z_m , R получаются профили озона. Процедуры подбора параметров озонового слоя останавливаются при насколько возможно минимальных значениях среднеквадратичных ошибок измерения спектра O_3 в каналах спектро-радиометра - $\delta[\Delta\tau_{oz}^e(v_i)]$.

$$\sum_i [\Delta\tau_{oz}^c(v_i) - \Delta\tau_{oz}^e(v_i)]^2 \leq \sum_i \{\delta[\Delta\tau_{oz}^e(v_i)]\}^2 \quad (3)$$

По результатам наблюдений на миллиметровых волнах ниже представлены: высотное распределение концентрации озона, содержание озона в стратосфере Земли. Измерения были выполнены на высоте 1600м. над уровнем моря, 43⁰ северной широты, 77⁰ восточной долготы, на берегу оз. Иссык-Куль в окружении гор. В направлении антенны высотой 2000-3000 км на удалении 200-300

км. Ширина озера 70 км и угол направленности от горных преград.
антенны 16^0 позволяет вести наблюдения независимо

Таблица 4

Высотное распределение озона по данным обсерватории, абсолютная калибровка (азот)

Дата	23.07.21	24.07.21	25.07.21	26.07.21
Н / км	9:25-10:19	10:06-11:05	8:48-9:43	8:22-9:14
20	2.716e+012	2.842e+012	3.140e+012	2.927e+012
21	3.011e+012	3.111e+012	3.399e+012	3.214e+012
22	3.275e+012	3.342e+012	3.610e+012	3.463e+012
23	3.488e+012	3.518e+012	3.757e+012	3.654e+012
24	3.633e+012	3.627e+012	3.827e+012	3.773e+012
25	3.698e+012	3.657e+012	3.816e+012	3.810e+012
26	3.676e+012	3.608e+012	3.723e+012	3.761e+012
27	3.569e+012	3.483e+012	3.558e+012	3.631e+012
28	3.387e+012	3.292e+012	3.332e+012	3.430e+012
29	3.145e+012	3.051e+012	3.062e+012	3.175e+012
30	2.863e+012	2.775e+012	2.766e+012	2.883e+012
31	2.559e+012	2.483e+012	2.459e+012	2.574e+012
32	2.250e+012	2.188e+012	2.157e+012	2.264e+012
33	1.950e+012	1.903e+012	1.868e+012	1.963e+012
34	1.669e+012	1.636e+012	1.602e+012	1.683e+012
35	1.413e+012	1.393e+012	1.361e+012	1.429e+012
36	1.186e+012	1.176e+012	1.147e+012	1.203e+012
37	9.874e+011	9.859e+011	9.605e+011	1.005e+012
38	8.171e+011	8.215e+011	8.000e+011	8.346e+011
39	6.726e+011	6.811e+011	6.634e+011	6.897e+011
40	5.513e+011	5.624e+011	5.480e+011	5.677e+011
41	4.503e+011	4.628e+011	4.513e+011	4.656e+011
42	3.667e+011	3.798e+011	3.707e+011	3.809e+011
43	2.980e+011	3.109e+011	3.038e+011	3.108e+011
44	2.416e+011	2.541e+011	2.486e+011	2.532e+011
45	1.956e+011	2.073e+011	2.031e+011	2.060e+011
46	1.582e+011	1.689e+011	1.658e+011	1.673e+011
47	1.278e+011	1.375e+011	1.352e+011	1.358e+011
48	1.032e+011	1.119e+011	1.102e+011	1.101e+011
49	8.321e+010	9.092e+010	8.970e+010	8.923e+010
50	6.708e+010	7.386e+010	7.300e+010	7.227e+010
51	5.406e+010	5.998e+010	5.939e+010	5.851e+010
52	4.355e+010	4.868e+010	4.829e+010	4.735e+010
53	3.507e+010	3.951e+010	3.926e+010	3.831e+010
54	2.824e+010	3.205e+010	3.192e+010	3.099e+010
55	2.273e+010	2.600e+010	2.594e+010	2.506e+010
56	1.830e+010	2.108e+010	2.108e+010	2.027e+010
57	1.473e+010	1.710e+010	1.712e+010	1.639e+010
58	1.185e+010	1.386e+010	1.391e+010	1.325e+010
59	9.537e+009	1.124e+010	1.130e+010	1.071e+010
60	7.673e+009	9.111e+009	9.179e+009	8.656e+009
20-60	5.152	5.121	5.243	5.295
X (20-60) км	191	190	194	196
Hmax	25.245	24.883	24.362	24.928

В таблице 4 представлены концентрации озона от 20 до 60 км. за некоторые дни лета. По многолетним наблюдениям, как в Киргизии, так и за рубежом [15,17], летние значения обычно показывают средние за год содержания озона, максимальные приходятся на весну, а минимальные - позднюю осень. За прошлый год, к сожа-

лению, в мировой сети отсутствовали данные за период наших измерений. Но за последние годы над районом измерений обсерватории общее содержание озона колебалось в районе 300- 320 ед.Д [15].

Таблица 5

Содержание стратосферного озона по данным наземных микроволновых измерений

Дата	23.07.21	24.07.21	25.07.21	26.07.21
Местн. время	9:25-10:19	10:06-11:05	8:48-9:43	8:22-9:14
X (20-30) км 10^{18} мол/см ²	3,646	3,630	3,799	3,772
X (30-60) км 10^{18} мол/см ²	1,925	1,639	1,608	1,675
X (20-60) км ед.Д.	191	190	194	196

Из таблицы 5 видно, что 60-65% озона находится от 20 до 60 км. И что наиболее насыщенная область концентрации озона находится в пределах высот 20-30 км. Что соответствует общему представлению об озоновом слое [15], хотя в других широтах, особенно в нижних, основной озон находится выше.

Литература:

- Программа ООН по окружающей среде / <http://ozone.unep.org>, <http://www.unep.org/ozone>.
- Монреальский протокол по проблеме веществ, разрушающих озоновый слой. - Бюллетень ВМО, 1988. - Т. 37.
- Поправка к Монреальскому протоколу от 15-17 сентября 1997г., Ратифицирована Законом КР от 15 янв. 2000 г., №16.
- <http://toms.gsfc.nasa.gov/>
- <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/present/Navigation.pl?tree=project&project=MLS>
- Copernicus Climate Change and Atmosphere Monitoring Services launched // European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. – 2014 [Эл. ресурс] - URL: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2014/copernicus-climate-change-and-atmosphere-monitoring-services>.
- Соломонов С.В. Определение вертикального профиля атмосферного озона по наземным измерениям излучения в миллиметровом диапазоне / К.П. Гайкович, Е.П. Кропоткина / Известия АН Физика атмосферы и океана, 1999, т.35, №1, С. 86-95.
- Соломонов С.В. О вариациях атмосферного озона на миллиметровых волнах / Е.П. Кропоткина, А.Н. Лукин, Н.И. Пономаренко, С.Б. Розанов / Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1993. - Т. 29. - №8. - С. 525-531.
- Solomon S. The mystery of Antarctic ozone «hole»/ Solomon S. // Rev.Geophys., 1988. - Vol. 26. - No 1. - P.131-148.
- Куликов Ю.Ю. Восстановление высотного профиля озона из наземных измерений интегрального поглощения в миллиметровом диапазоне волн / Н. Н. Маркина, А. П. Наумов, В.Г. Рыскин, М.И. Сумин / Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1988. - Т. 24. - №12. - С.1282-1292.
- Кисляков А.Г. Поглощение микрорадиоволн примесными газами атмосферы / Ю.Ю. Куликов, В.Г. Рыскин. / Труды ИПФ АН СССР. Сборник «Спектральные исследования космического и атмосферного излучения», Горький, 1979, С. 84-123.
- Вдовин В.Ф. Обсерватория для мониторинга озонового слоя земли в мм диапазоне длин волн в Среднеазиатском регионе. Первые наблюдения / И.И. Зинченко, А.Г. Кисляков, А.Т. Орозобаков, Т.О. Орозобаков и др. / Международный симпозиум «Физика атмосферы: Наука и образование». 11-13 сент. - Санкт-Петербург, 2007. - С. 118-122.
- Орозобаков А.Т., Рыскин В.Г. Микроволновые наземные измерения суточных вариаций озона в верхней стратосфере над Киргизией. / Известия РАН Физика атмосферы и океана, 2015. - №1. - Том 51. - С. 88-95.
- Орозобаков Т. Об особенностях распределения озона в стратосфере по результатам одновременных наземных микроволновых измерений в Нижнем Новгороде и Кыргызстане / И.И. Зинченко, В.Г. Рыскин, А.Т. Орозобаков / «Метеорология и гидрология», №10. - 2012. - С. 24-332.
- Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Э., Токтосунов Э. Общее содержание озона над Средней Азией по результатам обработок данных мировой сети / Известия ВУЗов Кыргызстана. - 2019. - №8. - С. 33-11.
- Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Э.У. Наземные радиофизические наблюдения высотного распределения озона над регионом Средней Азии. / Журнал радиоэлектроники, 2018. - №12. - С.1-13.
- Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Токтосунов Э.К. Наземные измерения высотного распределения озона на миллиметровых волнах в Иссык-Кульской обсерватории / Наука и новые технологии. - 2020. - №4. - С. 3-9.
- Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Лукин А.Н., Пономаренко Н.И., Розанов С.Б. О вариациях атмосферного озона на миллиметровых волнах. / Изв. АН. Физика атмосферы и океана. - 1993. - Т. 29. - №8. - С. 525-531.
- Куликов Ю.Ю., Красильников А.А., Рыскин В.Г., Федосеев Л.И. Микроволновое радиометрическое зондирование верхней атмосферы над Нижним Новгородом. / Известия Высших учебных заведений. - Радиофизика. 1998. - Т. 41, №11. - С. 1405-1423.
- Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Э.У., Садырбаева М. Распределение озонового слоя по данным орбитальных и наземных микроволновых измерений. / Известия ВУЗов Кыргызстана. 2017. №. 7. С. 3-7.