

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.510.42

Техническое оснащение наземной сети станций измерения общего содержания озона в России и перспективы модернизации

В.М. Дорохов¹, Г.А. Ивлев², В.И. Привалов³, А.М. Шаламянский^{3*}

¹Центральная аэрологическая обсерватория
141700, г. Долгопрудный, Московская обл., ул. Первомайская, 3

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

³Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова
194021, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7

Поступила в редакцию 2.10.2013 г.

Происходящие изменения общего содержания озона (ОСО) в земной атмосфере влияют как на наблюдаемые атмосферные изменения, так и на климат нашей планеты. Для наземных измерений ОСО в Российской Федерации (РФ) используются спектрофотометры Dobson и Brewer, спектрометры SAOZ. Фильтровые озонометры М-124 применяются для наблюдений ОСО на Российской озонометрической сети. В ближайшее время планируется установка недавно созданных спектрометров УФОС для наблюдений озона и ультрафиолетовой солнечной радиации. Представлены основные характеристики аппаратуры для наземных наблюдений ОСО на территории РФ. Рассмотрены вопросы модернизации отечественной сети станций мониторинга озона и солнечной УФ-радиации.

Ключевые слова: атмосфера, общее содержание озона, спектрофотометр, спектрометр; atmosphere, total ozone, spectrophotometer, spectrometer.

Введение

Озон, составляя весьма малую часть атмосферного воздуха, оказывает существенное влияние на радиационный и термический режим атмосферы. Толщина защитного озонового слоя определяет уровень приходящей к земле биологически активной ультрафиолетовой (УФ) радиации, поэтому изменения в озоносфере могут оказать ощутимое влияние на здоровье людей и на состояние биоты. В то же время атмосферный озон фактически определяет термический режим стратосферы, а вариации поля озона тесно связаны с макромасштабными процессами в нижней стратосфере и верхней тропосфере.

Наблюдения и оценка состояния озонового слоя проводятся с применением различных наземных, баллонных и спутниковых приборных комплексов [1]. В настоящее время наиболее доступной, хорошо контролируемой и в то же время весьма информативной характеристикой состояния озонового слоя является общее содержание озона (ОСО). Результаты измерений ОСО на наземной сети являются опорными для других видов измерений (например, для измерений со спутника и для озонозондирования).

В настоящее время аппаратурой, способной обеспечить надежность оценок текущего состояния озонового слоя, а также трендов и тенденций долгопериодных изменений в озоновом слое, Всемирная метеорологическая организация (ВМО) признала три вида приборов – озонный спектрофотометр Dobson [2–4], озонный спектрофотометр Brewer [5–8, 17–19] и озонометр М-124 [13–16]. Все эти приборы применяются для определения ОСО на территории Российской Федерации (РФ), кроме того, в РФ для измерений ОСО в последнее время начали использовать спектрометр SAOZ [9–12, 20] и вновь разработанный ультрафиолетовый озонный спектрометр УФОС [21].

В России используются два спектрофотометра Dobson. Спектрофотометр Dobson, серийный номер S/N 107, установлен в Центральной аэрологической обсерватории, г. Долгопрудный. Спектрофотометр Dobson S/N 108 находится на экспериментальной базе Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова в пос. Воейково Ленинградской области, является эталоном первого разряда для измерений ОСО и применяются для калибровки и поверки фильтровых озонометров М-124, обеспечивая единую шкалу измерений ОСО на территории РФ.

На сети озонометрических станций, работу которых организует и обеспечивает Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей

* Валерий Михайлович Дорохов; Георгий Алексеевич Ивлев (ivlev@iao.ru); Вячеслав Иванович Привалов; Аркадий Матвеевич Шаламянский.

среды (Росгидромет), используются фильтровые озонметры М-124. Данные измерений ОСО на станциях Росгидромета поставляются в Мировой центр данных по озону и ультрафиолетовой радиации (WOUDC).

В настоящее время на территории России используются три спектрофотометра Brewer для измерений ОСО и спектрального потока солнечной УФ-радиации и два спектрометра SAOZ для изме-

рений ОСО и двуоксида азота в ультрафиолетовом и видимом диапазонах длин волн.

Расположение российских озонметрических станций, оснащенных спектрофотометрами Dobson, Brewer и спектрометрами SAOZ, представлено на рис. 1.

Карта расположения фильтровых озонметров М-124 на территории РФ по состоянию на начало 2012 г. показана на рис. 2.

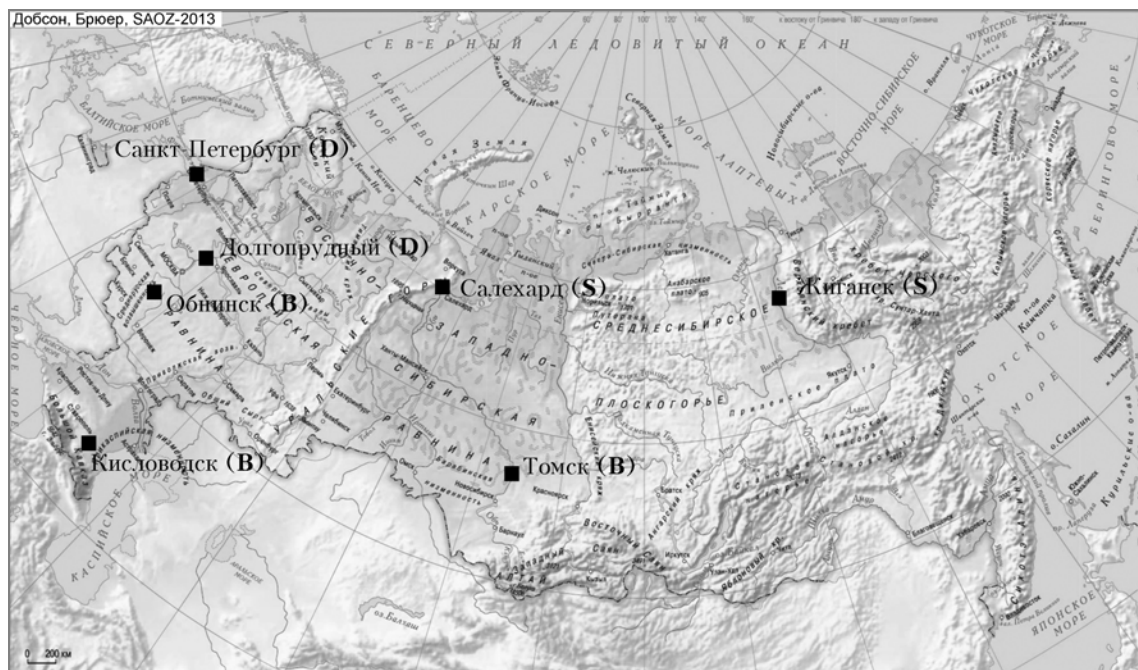


Рис. 1. Карта расположения спектрофотометров Dobson (D), спектрофотометров Brewer (B) и спектрометров SAOZ (S) на территории России

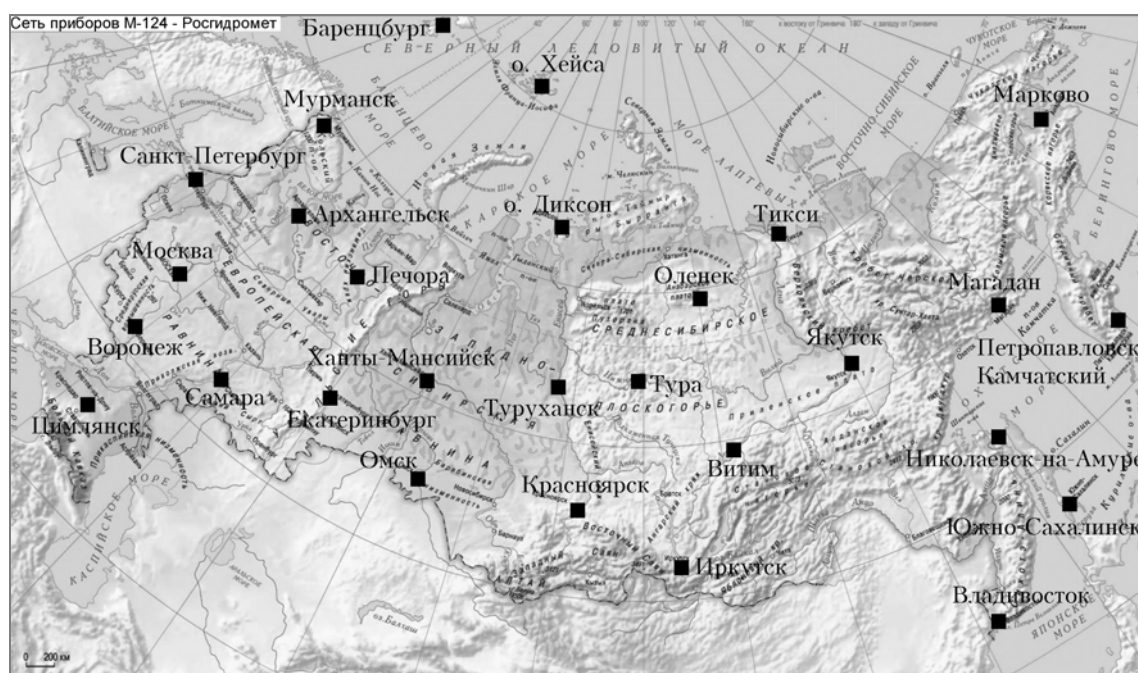


Рис. 2. Карта расположения основных станций Российской озонметрической сети, оснащенных фильтровыми озонόμεтрами М-124

В ближайшие годы планируется переоснащение наземной озонметрической сети станций Росгидромета новыми приборами УФОС.

Технические средства наземных наблюдений общего содержания атмосферного озона

Спектрофотометр Dobson

Спектрофотометр Dobson относится к разряду высокоточных приборов для измерения общего содержания озона и был разработан еще в 30-е гг. XX в. Унифицированный озонный спектрофотометр Dobson и разработанная его создателем методика измерения ОСО являются основой мировой озонметрической сети. Озонметр Dobson представляет собой двойной кварцевый монохроматор автоколлимационного типа с постоянными оптическими щелями. Возможность измерения спектрофотометром Dobson ослабления излучения на нескольких парах длин волн в спектральном диапазоне 305–340 нм позволяет использовать многоволновую методику измерения общего содержания озона. Основные измерения ОСО проводятся на двух парах длин волн – А и Д, где пара А относится к наблюдениям на длинах волн 305,5/325,4 нм, а пара Д на длинах волн 317,6/339,8 нм. Погрешность измерения ОСО составляет 2–3% при наблюдениях по зениту облачного неба и 1–2% при измерениях общего содержания атмосферного озона по прямому солнечному излучению в безоблачную погоду. Прибор Dobson S/N 107 последний раз был прокалиброван летом 2010 г. в обсерватории Хоэнпайсенберг (Германия) по европейскому региональному эталону – прибору Dobson S/N 064. Калибровка спектрофотометра Dobson S/N 108 выполнена в 2009 г. в Эль-Ареносильо (Испания).

Спектрофотометр Brewer

На территории РФ в настоящее время работает небольшая сеть станций, использующая приборы Brewer. С помощью спектрофотометра Brewer модели МКII S/N 043 ведутся регулярные измерения ОСО и спектрального потока солнечной УФ-радиации на Кисловодской высокогорной научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ИФА РАН). В г. Обнинске проводятся регулярные наблюдения ОСО и солнечной УФ-радиации на станции Института экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун» с помощью спектрофотометра Brewer МКII S/N 044.

В Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН) осенью 2003 г. совместно с ЦАО начаты наблюдения общего содержания озона и уровней ультрафиолетовой солнечной радиации с помощью спектрофотометра Brewer МКIV S/N 049. Прибор используется в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве между ИОА СО РАН и ЦАО.

В 1990–1994 гг. этот прибор уже использовался на о. Хейса, Земля Франца-Иосифа, для наблюдений общего содержания озона и двуокиси азота в атмосфере. Измерения ОСО проводились по солнечному излучению, а в период полярной ночи выполнялись измерения озона по Луне [5–7].

Спектрофотометры Brewer МКII и МКIV, используемые в РФ, измеряют ОСО и солнечную УФ-радиацию. При измерении УФ-радиации точность сканирования по спектру составляет $(0,006 \pm \pm 0,002)$ нм. Сканирование происходит с шагом 0,5 нм в диапазоне длин волн от 290 до 325 нм. За время, равное 5 мин 25 с, производится проход данного спектрального диапазона в обе стороны с получением двух значений на каждой длине волны. Итоговым результатом является спектр из среднеарифметических значений интенсивности в диапазоне 290–325 нм.

При определении ОСО по прямому Солнцу и в зените неба время начала каждого следующего измерения, производимого прибором, не постоянно. Расписание выполнения отдельных команд задается оператором в определенных зенитных углах Солнца (SZA). Когда достигается заданное значение SZA, спектрофотометр начинает выполнять заданную оператором последовательность команд, измеряя УФ-радиацию, ОСО либо проводя внутренние калибровки прибора. Программное обеспечение позволяет получать как спектральное распределение УФ-радиации, так и интегральные значения в заданной области спектра.

Спектрофотометры Brewer проходят плановое техническое обслуживание и участвовали в четырех совместных калибровках российских приборов Brewer по вторичному канадскому передвижному эталону Brewer МКII S/N017, выполненных в НПО «Тайфун» в г. Обнинске в 2003–2012 гг. Результаты наблюдений приборами Brewer S/N 043, 044 и 049, работающими в РФ, за все прошедшие годы представлены в базе данных WOUDC <http://www.woudc.org/>.

Спектрометр SAOZ

Спектрометр SAOZ (Système d'Analyse par Observation Zénithale) разработан французской службой аэронавтики в 1988 г. В настоящее время прибор регулярно совершенствуется и модернизируется в Лаборатории атмосферных исследований (LATMOS/CNRS) (Франция) для измерения общего содержания атмосферного озона, двуокиси азота и некоторых других малых газовых примесей (BrO и O_4). Спектрометр использует технику измерений в ультрафиолетовой и видимой областях спектра солнечной радиации при регистрации света из зенита неба. Точность зенитных наблюдений ОСО составляет 8%, двуокиси азота 10%. Прибор позволяет выполнять спектральные измерения ОСО и NO_2 в автоматизированном режиме. Внутренняя калибровка прибора по длинам волн проводится путем сравнения положения линий спектра с положением линий Фраунгофера в солнечном спектре, что обеспечивает постоянную калибровку каждого зарегист-

рированного спектра по отношению к опорному. Спектрометром SAOZ можно проводить наблюдения при восходе и заходе Солнца при одних и тех же зенитных углах от 86 до 91°, что исключает систематическую составляющую погрешности измерений в различные сезоны года при значительных изменениях высоты Солнца. Спектрометр нечувствителен к тропосферным условиям проведения измерений (снег, дождь, облака, туманы) и позволяет выполнять наблюдения даже при умеренных снежных заносах на поверхности самого прибора.

Спектрометр SAOZ состоит из плоской дифракционной голографической решетки 360 штр./мм Jobin Yvon CP200 и неохлаждаемой диодной матрицы Hamamatsu 1024 с 50-микронной входной щелью, позволяющей анализировать выбранный спектральный диапазон с разрешением 1 нм в диапазоне длин волн от 300 до 600 нм. Спектрометр расположен в пыле- и влагозащищенном корпусе с кварцевым окном, что дает возможность успешно проводить измерения радиации по зениту неба. Прибор приводится в действие компьютером, что разрешает проводить запись и анализ данных спектральных наблюдений в режиме реального времени. Измерения выполняются от восхода до заката Солнца, пока значение SZA не достигнет 94°. Время экспозиции автоматически регулируется в пределах от 0,1 до 60 с для того, чтобы оптимизировать сигнал, и спектры добавляются в оперативную память во время рабочего цикла 60 с.

Первый в нашей стране спектрометр SAOZ был установлен и введен в эксплуатацию на аэрологической станции Жиганск в Восточной Сибири в декабре 1991 г. Осенью 1998 г. прибор SAOZ начал работу на аэрологической станции Салехард в Западной Сибири. Начиная с 2005 г. на ст. Жиганск используется спектрометр SAOZ версии V-1024. Такая же версия модифицированного прибора SAOZ внедрена осенью 2009 г. и на ст. Салехард. Данные наблюдений ОСО и NO₂ спектрометрами SAOZ на территории России представлены в базе данных NDACC (по адресу <http://saoz.obs.uvsq.fr/SAOZ-RT.html>) в режиме, близком к реальному времени.

Фильтровый озонметр М-124

В 1957–59 гг. на территории СССР была создана озонметрическая сеть из 45 станций для измерения ОСО, оснащенная фильтровыми озонметрами М-83. В 1983 г. опытный завод ЦКБ ГМП (г. Обнинск) начал производство малогабаритных озонметров М-124, заменивших озонметры М-83. При этом оптические блоки озонметров (набор цветных оптических стекол) остались неизменными, что позволило сохранить ряды измерений, которые с 1973 г. выполняются в единой шкале, привязанной к мировому эталону ОСО. В настоящее время в РФ действует сеть из 28 наземных станций Росгидромета, на которых измерения общего содержания озона выполняются фильтровыми приборами М-124. Пункты расположения фильтровых озонмет-

ров М-124, их географические координаты и номера большинства станций в списке Всемирной метеорологической организации приведены в табл. 1.

Таблица 1
Станции озонметрической сети Росгидромета

Станция	Северная широта, град	Восточная долгота, град	Номер ВМО
о. Хейса	81,6	58,1	114
Баренцбург (Норвегия)	78,1	14,2	—
о. Диксон	73,5	80,2	005
Тикси	71,6	128,9	186
Мурманск	69,0	33,1	117
Оленек	68,5	112,4	145
Туруханск	65,8	87,9	—
Печора	65,1	57,1	129
Марково	64,7	170,4	144
Архангельск	64,6	40,5	271
Тура	64,2	100,1	276
Якутск	62,1	129,8	123
Ханты-Мансийск	61,0	69,1	150
Санкт-Петербург	60,0	30,3	042
Нагаево	59,6	150,8	118
Витим	59,5	112,6	148
Екатеринбург	56,8	60,6	122
Красноярск	56,0	92,9	143
Москва	55,8	37,6	116
Омск	55,0	73,4	120
Самара	53,3	50,3	115
Николаевск-на-Амуре	53,1	140,7	274
Петропавловск-Камчатский	53,0	158,8	130
Иркутск	52,3	104,3	085
Воронеж	51,7	39,2	153
Цимлянск	47,7	42,3	277
Южно-Сахалинск	46,9	142,7	112
Владивосток	43,1	131,9	016

Эта сеть наземных станций — основной источник регулярных сведений о состоянии защитного озонового слоя над обширной территорией РФ. Озонметрическая сеть станций Росгидромета работает при постоянной методической, метрологической и технической поддержке ГГО.

Фильтровые озонметры М-124 выполняют измерения ОСО, используя прямую солнечную ультрафиолетовую радиацию или радиацию от зенита неба в двух интервалах длин волн с максимумом 302 и 326 нм и полушириной полосы пропускания около 20 нм [13]. Погрешность зенитных измерений ОСО при зенитных углах Солнца 14–70° не превышает 5%, а погрешность определения среднего за день значения ОСО составляет 3% [11]. Разработанная в ГГО методика измерений по свету от зенита ясного и облачного неба позволяет поддерживать необходимую точность измерений ОСО практически без пропусков в наблюдениях.

Озонметры М-124 применяются на территории нашей страны уже более 30 лет. Приборы не автоматизированы, зависимы от условий хранения и эксплуатации светофильтров и требовательны

к квалификации обслуживающего персонала. Число действующих приборов постепенно сокращается. В настоящее время настоятельно требуется переоснащение наземной сети озонметрических станций РФ современной аппаратурой, соответствующей последним техническим и эксплуатационным требованиям.

Ультрафиолетовый озонный спектрометр УФОС

В связи с устареванием приборной базы Росгидромета в 90-гг. XX в. был проведен анализ характеристик автоматизированных приборов для измерений УФ-радиации и ОСО, которые использует мировая озонная сеть. Он показал, что они, к сожалению, не удовлетворяют условиям работы на сети Росгидромета (надежность аппаратуры, работа в большом диапазоне высот Солнца, работа в широком диапазоне климатических и погодных условий, простота эксплуатации, стоимость прибора).

По этой причине перспективы развития наблюдательной сети станций наземных измерений ОСО на территории РФ оказались связаны с использованием новых модернизированных средств измерений параметров озонового слоя, в первую очередь приборов отечественного производства. С целью оснащения озонной сети станций Росгидромета аппаратурой современного уровня под общим руководством специалистов ГГО в Санкт-Петербурге был разработан ультрафиолетовый озонный спектрометр УФОС. Оптический блок прибора УФОС представляет собой полихроматор (дифракционная решетка 800 штр./мм + ПЗС-линейка), который позволяет регистрировать спектры приходящей от зенита неба радиации, а также спектр радиации от полусферы неба в диапазоне длин волн от 290 до 400 нм с разрешением до 1 нм и экспозицией от 200 мс до 2 с. Для проверки шкалы длин волн используются френгоферовы линии поглощения в спектре Солнца.

Одновременная регистрация спектра в области полосы поглощения озона и вне ее позволяет с высокой точностью определять ОСО и исключать влияние облачности.

В период 2001–2008 гг. было изготовлено четыре экспериментальных образца прибора УФОС. Они были установлены на озонметрических станциях в Воейково, Мурманске, Цимлянске, Якутске для исследования возможности выполнения автоматизированных измерений ОСО и ультрафиолетовой радиации в большом диапазоне погодных условий РФ. Полученный при натурных испытаниях опыт был использован для разработки и изготовления опытного образца УФОС. В нем используются современная элементная база, испытанная многолетней практикой методика проведения измерений ОСО и результаты работы в большом диапазоне погодных условий, полученные при эксплуатации четырех экспериментальных образцов. По ряду технических характеристик УФОС превосходит возможности известных в настоящее время приборов для наземных измерений ОСО и спектральных потоков солнечной УФ-радиации. Преимущества спектрометра УФОС вполне очевидны: быстрдействие, одновременное измерение ОСО и спектрального потока солнечной УФ-радиации, способность выполнять измерения ОСО при любой облачности, простота конструкции и полное отсутствие механических подстроек. УФОС удовлетворяет всем требованиям ВМО к приборам для измерения ОСО и солнечной УФ-радиации. Прибор может работать в непростых условиях эксплуатации на станциях Росгидромета. Сравнение технических и эксплуатационных характеристик спектрометра УФОС, спектрофотометра Brewer MKIII и спектрометра SAOZ V-1024 приведено в табл. 2. Внешний вид прибора УФОС представлен на рис. 3. На рис. 4 показан спектр ультрафиолетовой солнечной радиации, полученный спектрометром УФОС 13 сентября 2013 г. на ст. Воейково.

Таблица 2

Сравнение технических и эксплуатационных характеристик спектральных приборов УФОС, Brewer MKIII, SAOZ V-1024

Характеристика	Спектральные приборы		
	Спектрометр УФОС	Спектрофотометр Brewer MKIII	Спектрометр SAOZ V-1024
	Условия измерений		
	При любом состоянии неба	При ясном небе	При любом состоянии неба
Диапазон измерения ОСО, е. Д.	100÷600	100÷600	100÷600
Диапазон высот Солнца, град	5÷70	5÷70	-1÷4
Погрешность измерения ОСО, %	Не более 3	Не более 3	Не более 3
Масса оптического блока, кг	5	32	35
Габариты, мм	400 × 140 × 300	700 × 460 × 340	650 × 600 × 450
Механика	Движущиеся детали отсутствуют	Не менее 8 точных движков	Движущиеся детали отсутствуют
Квалификация оператора	Техник	Инженер-оптик	Техник
Соотношение стоимости	1	10	2



Рис. 3. Ультрафиолетовый озонный спектрометр УФОС на измерительной площадке экспериментальной полевой базы Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова ст. Воейково около г. Санкт-Петербурга

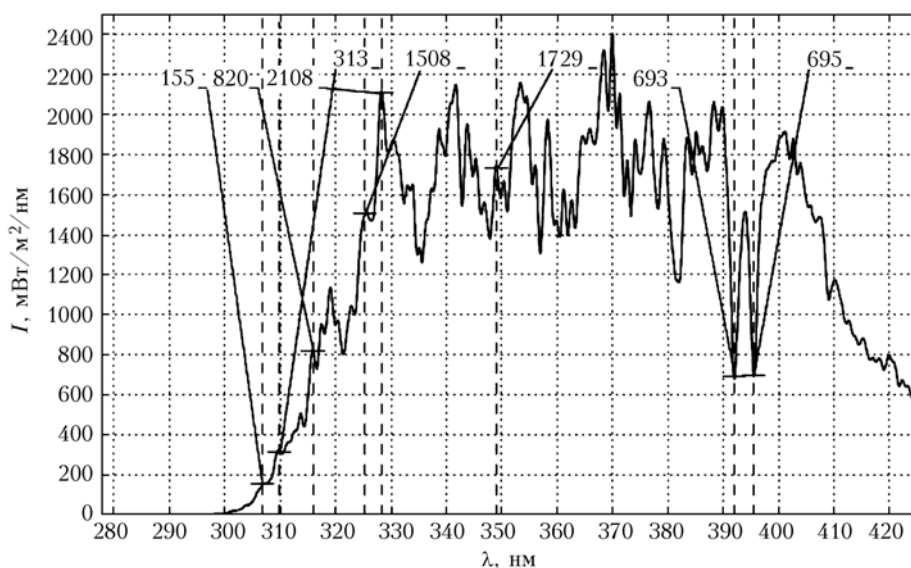


Рис. 4. Спектр ультрафиолетовой радиации от зенита неба, полученный спектрометром УФОС 7 сентября 2013 г. в 17:28:21 местного времени при высоте Солнца над горизонтом 22,9°. Вертикальными пунктирными линиями обозначены участки спектра в области поглощения озона и вне ее, а числа на сносках указывают значения сигналов в момент измерения, использованных для расчета ОСО с учетом ослабления солнечной радиации аэрозолями или облачностью

В сентябре 2013 г. в ЗАО «Лазерный центр ИТМО» начато изготовление первой партии УФОС для переоснащения 14 озонметрических станций Росгидромета.

Заключение

На настоящее время в РФ действует 35 озонметрических станций, основная часть которых под-

ведомственна Росгидромету. Имеется две пары станций, где измерения озонметром М-124 на одних станциях дублируются измерениями спектрофотометром Dobson на соседних станциях. Эти станции находятся в непосредственной близости друг от друга: Санкт-Петербург/пос. Воейково (Ленинградская область) и Москва/г. Долгопрудный. В г. Томске в ИОА СО РАН спектрофотометр Brewer MKIV S/N 049 и озонметр М-124 установлены на одной

измерительной площадке. На 33 из 35 станций измерения ОСО осуществляются с помощью приборов мировой озонной сети, признанных ВМО пригодными для оценки изменений в озоновом слое. Сеть озонметрических станций покрывает практически всю территорию РФ.

По данным наземных наблюдений ОСО в настоящее время в России спектрофотометрами Dobson, Brewer, спектрометрами SAOZ и фильтровыми озонметрами М-124 оцениваются изменения озонового слоя над территорией нашей страны. Результаты наземных наблюдений параметров озонового слоя представлены и регулярно, но, к сожалению, по большинству станций со значительными временными задержками, пополняются в международных базах данных WOUDC, NDACC.

Несмотря на широкий охват территории страны сетью озонметрических станций, регулярные измерения приходящего спектрального потока солнечной УФ-радиации ведутся только на станциях, оснащенных спектрофотометрами Brewer. По этой причине возможность одновременного проведения измерений ОСО и спектрального потока УФ-радиации одним прибором, которая заложена в конструкции УФОС, при замене М-124 на данный озонный спектрометр, позволит не только обновить и модернизировать сеть отечественных озонметрических станций, но и охватить значительную территорию страны в дополнение к наблюдениям ОСО еще и спектральными измерениями УФ-радиации в диапазоне 290–400 нм.

Также мы считаем, что существенным недостатком отечественной сети является отсутствие национальной электронной базы данных по ОСО и излучению солнечной УФ-радиации на территории РФ. Начавшееся переоснащение отечественных станций повысит возможность создания такого электронного ресурса, что, в свою очередь, при включении УФОС в ряд приборов, признанных ВМО пригодными для оценки изменений в озоновом слое, повысит информированность научного сообщества о его технических характеристиках и возможностях.

Авторы выражают благодарность специалистам International Ozone Services Incorporated (Торонто, Канада) за очередную калибровку российских спектрофотометров Brewer по передвижному вторичному эталонному прибору Brewer S/N 017, проведенную в г. Обнинске в сентябре 2012 г.

Работы по наземному мониторингу озонового слоя озонметрами М-124 выполняются по линии Росгидромета. Наблюдения спектрофотометра Brewer в г. Томске (Западная Сибирь) выполнены при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131, грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590 и Договора о научно-техническом сотрудничестве между ИОА СО РАН и ЦАО. Наземные наблюдения общего содержания озона приборами SAOZ в Сибири проведены при поддержке национальных проектов CNES и CNRS/INSU в рамках программы NDACC/OVSQ (Франция).

1. Еланский Н.Ф. Российские исследования атмосферного озона в 2007–2010 гг. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2012. Т. 48, № 3. С. 314–333.
2. Komhyr W.D. Dobson spectrophotometer systematic total ozone measurement error // Geophys. Res. Lett. 1980. V. 7, N 2. P. 161–163. DOI: 10.1029/GL007i002p00161.
3. Komhyr W.D., Evans R.D. Dobson spectrophotometer total ozone measurement error caused by interfering absorbing species such as SO₂, S/N₂ and photochemically produced O₃ in polluted air // Geophys. Res. Lett. 1980. V. 7, N 2. P. 157–160. DOI: 10.1029/GL007i002p00157.
4. Kerr J.B., Asbridge I.A., Evans W.F.J. Intercomparison of total ozone measured by the Brewer and Dobson spectrophotometers at Toronto // J. Geophys. Res. D. 1988. V. 93, N 9. P. 11129–11140. DOI: 10.1029/JD093iD09p11129.
5. Дорохов В.М. Наблюдения общего содержания озона в Арктике на о. Хейса (81° с.ш.) зимой 1989 г. // Оптика атмосф. и океана. 1990. Т. 3, № 1. С. 102–106.
6. Kerr J.B., McElroy C.T., Wardle D.I., Dorokhov V. Measurements of Arctic total ozone during the polar winter // Atmosphere–Ocean. 1990. V. 28, N 4. P. 383–392. DOI: 10.1080/07055900.1990.9649384.
7. Дорохов В.М., Фиолетов В.Е., Ситникова В.И. Вариации общего содержания озона и двуокиси азота в атмосфере Арктики в условиях полярной ночи 1989/90 и 1990/91 г. // Метеорол. и гидрол. 1992. № 6. С. 54–59.
8. Дорохов В.М., Потапова Т.Е. Наблюдения общего содержания атмосферного озона в высоких арктических широтах // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8, № 6. С. 868–872.
9. Pommereau J.P., Goutail F. O₃ and NO₂ ground-based measurements by visible spectrometry during Arctic winter and spring 1988 // Geophys. Res. Lett. 1988. V. 15, N 8. P. 891–894. DOI: 10.1029/GL015i008p00891.
10. Goutail F., Pommereau J.P., Sarkissian A., Kyrö E., Dorokhov V. Total nitrogen dioxide at the Arctic Polar Circle since 1990 // Geophys. Res. Lett. 1994. V. 21, N 13. P. 1371–1374. DOI: 10.1029/93GL01783.
11. Ионов Д.В. Проблема валидации данных спутниковых измерений газового состава атмосферы на примере задачи глобального мониторинга общего вертикального содержания озона и двуокиси азота // Юбилейный сборник «Физика атмосферы: наука и образование». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. Россия. С. 66–80.
12. Hendrick F., Pommereau J.-P., Goutail F., Evans R. D., Ionov D., Pazmino A., Kyrö E., Held G., Eriksen P., Dorokhov V., Gil M., van Roozendaal M. NDACC/SAOZ UV-visible total ozone measurements: improved retrieval and comparison with correlative ground-based and satellite observations // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11, N 12. P. 5975–5995. DOI: 10.5194/acp-11-5975-2011.
13. Гуцин Г.П., Соколенко С.А., Нерушев А.Ф., Васильев В.И., Шаламянский А.М., Привалов В.И. Сравнение и калибровка приборов для измерения ультрафиолетовой радиации в г. Обнинске 16–19 сентября 2001 г. // Метеорол. и гидрол. 2002. № 7. С. 94–101.
14. Шаламянский А.М. Озонметрическая сеть СНГ // Метеорол. и гидрол. 1993. № 9. С. 100–104.
15. Шаламянский А.М., Кароль И.Л., Клягина Л.П., Ромашкина К.И. Общее содержание озона над территорией Российской Федерации и прилегающих стран по 30-летним измерениям наземных станций // Метеорол. и гидрол. 2004. № 8. С. 24–35.
16. Баженов О.Е., Бурлаков В.Д. Аномальное понижение уровня общего содержания озона над Томском и северной территорией России в марте–апреле 2011 г. // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 10. С. 515–519.

17. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Скляднева Т.К. Вариации ультрафиолетовой В-радиации в Томске в 2003–2007 гг. // Оптика атмосфер. и океана. 2008. Т. 21, № 7. С. 619–624.
18. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Скляднева Т.К. Влияние города на приходящую ультрафиолетовую радиацию по результатам многолетнего мониторинга в районе г. Томска // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 12. С. 1113–1119.
19. Ивлев Г.А., Белан Б.Д., Дорохов В.М., Терев Н.В. Спектральные наблюдения изменений общего содержания озона в Обнинске и Томске // Оптика атмосфер. и океана. 2013. Т. 26, № 4. С. 325–331.
20. Pommereau J.-P., Goutail F., Lefèvre F., Pazmino A., Adams C., Dorokhov V., Eriksen P., Kivi R., Stebel K., Zhao X., van Roozendaal M. Why unprecedented ozone loss in the Arctic in 2011? Is it related to climate change? // Atmos. Chem. Phys. 2013. V. 13, N 10. P. 5299–5308. DOI: 10.5194/acp-13-5299-2013.
21. Privalov V.I., Shalamyansky A.M., Vtorov A.L., Talash S.S., Selivanov V.L., Smirnov S.A., Makarov D.S. Spectral Instruments for Re-Equipment of Roshydromet Ozone Network // International Symposium «Atmospheric Radiation and Dynamics» (ISARD–2013). 24–27 June 2013, St. Petersburg-Petrodvorets, Russia. 2013. P. 151–152.

V.M. Dorokhov, G.A. Ivlev, V.I. Privalov, A.M. Shalamyansky. Technical equipment of ground-based stations for total ozone measurements in Russia and prospects of modernization.

The changes of total ozone in the Earth's atmosphere affect both the observed atmospheric changes and the climate of our planet. For ground-based observations of total ozone in the Russian Federation (RF), the Dobson and Brewer spectrophotometers, SAOZ spectrometers are in use. Filter M-124 ozonometers measure the total ozone for use in the Russian ozone network. In the near future, we will start the installation and trial operation of modern automated UVOS spectrometers for observations of total ozone and ultraviolet radiation. The paper presents the main specifications of equipment for ground-based observations of total ozone in the RF. The problems of modernization of the national network for the total ozone and ultraviolet solar radiation are presented and discussed.