

Федеральная служба по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды
(Росгидромет)

Федеральное государственное бюджетное
учреждение
«ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ»
(ФГБУ «ЦАО»)

ул. Первомайская, д. 3, г. Долгопрудный, М.О.,
141707

тел.: (495) 408-61-48; факс: (495) 576-33-27

e-mail: secretary@cao-rhms.ru

ОГРН 1025001202005

21.12.2020 № 2997/11-22

На № _____ от _____

Директору Института энергетических
проблем химической физики
им. В.Л. Тальрозе РАН
В.Н. Емохонову

iner@chph.ras.ru

Уважаемый Виктор Николаевич!

Направляем подготовленное в ФГБУ «ЦАО» с использованием полученных из научно-исследовательских институтов Росгидромета, РАН и учреждений Высшей школы материалов, Национальное сообщение Российской Федерации о проводимых работах по мониторингу и изучению озонового слоя и его изменений (за 2017-2019 гг.). После согласования с Росгидрометом и Министерством природных ресурсов РФ Национальное сообщение в июне 2020 г. было направлено во Всемирную метеорологическую организацию.

Благодарим за предоставление информации из Вашей организации, которая была использована при подготовке Национального сообщения.

Немного сокращенную версию Национального сообщения предполагается подготовить для публикации в журнале "Гидрометеорологические исследования и прогнозы" в 2021 г.

Директор



А.В. Колдаев

Приложение:

«Национальное сообщение Российской Федерации о проводимых работах по мониторингу и изучению озонового слоя и его изменений»

на 16 стр. в 1 экз.

**Национальное сообщение Российской Федерации
для 11-й встречи WMO/UNEP национальных представителей по изучению озона
1-3 апреля 2020, г. Женева, Швейцария
(Russian National Report for the 11th WMO/UNEP Ozone Research Managers' Meeting
1 - 3 April 2020, Geneva, Switzerland)**

1. Наблюдения (OBSERVATIONAL ACTIVITIES)

1.1. Измерения общего содержания озона и других малых газовых составляющих, отвечающих за разрушение озона (Column measurements of ozone and other gases/variables relevant to ozone loss)

В Российской Федерации проведение регулярных измерений общего содержания озона (ОСО) и взаимодействие с ВМО осуществляет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Ежедневные измерения ОСО на территории России выполняются с помощью фильтровых озонметров М-124 на сети из 30 станций, являющихся частью мировой озонметрической сети (ГСА ВМО). Методическое, техническое и метрологическое обеспечение мониторинга ОСО и ультрафиолетовой радиации (УФР) осуществляет Главная геофизическая обсерватория (ГГО) им. А.И. Воейкова. Также под руководством ГГО продолжают измерения ОСО на 5-ти станциях в Казахстане. В 2018 г. полевой базе ФГБУ «ГГО» (пос. Воейково) присвоен статус полигона ВМО по целому ряду измерений, в том числе и по озону.

В Антарктике измерения общего содержания озона проводятся с использованием фильтровых озонметров М-124 специалистами Научно-исследовательского института Арктики и Антарктики (АНИИ) на российских научных станциях: Новолазаревская, Мирный и Восток, а также на научно-исследовательских судах Российской Антарктической экспедиции. С 1974 г. калибровка используемых фильтровых озонметров проводится в ГГО им Воейкова (г. Санкт-Петербург) по спектрофотометру Добсона № 108.

С 2009 г. в рамках специальной федеральной программы Росгидромета под руководством специалистов Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) создана сеть измерений ОСО и общего содержания NO₂ с помощью автоматических спектрофотометров Mini-SAOZ производства Франции, которые установлены в районах, где в зимне-весенний период часто отмечаются отрицательные аномалии ОСО. Функционируют 6 станций, оснащённых этими приборами (Анадырь, Жиганск, Салехард, Мурманск, Иркутск, Долгопрудный). Данные прибора Mini-SAOZ на станции Салехард (67° с.ш., 67° в.д.), доступны на сайте <http://saoz.obs.uvsq.fr>. Регулярные наблюдения проводятся в г. Долгопрудный (ЦАО). Из-за недостаточного финансирования данные с других станций поступают нерегулярно, после получения размещаются на сайте ЦАО <http://www.cao-rhms.ru/saoz/>

В 2017-2019 гг. на измерительной станции «Обнинск» (55° с. ш. 36° в. д.) (идентификатор Глобальной службы наблюдения за атмосферой (GAW): OBN, в базе Мирового центра данных по озону и ультрафиолету № 307) проводились систематические измерения: ОСО с использованием спектрофотометра Брюера MkII № 044 и интегрального содержания в столбе атмосферы CH₄ и H₂O спектроскопическим методом.

Кроме того, на станции «Обнинск» ведутся систематические измерения приземной концентрации озона с помощью оптического озонметра Ф-105 и измерения приземной концентрации CO, CH₄ и других газовых компонент, участвующих в озоновом цикле, а также синхронные измерения метеопараметров в пограничном слое атмосферы.

Измерения ОСО осуществляется на Высокогорной научной станции ИФА им. А.М. Обухова РАН (ВНС), расположенной на Северном Кавказе (43.7° с.ш., 42.7° в.д.) в зоне альпийских лугов на высоте 2070 м над уровнем моря. Большую часть времени условия наблюдения на ВНС можно считать фоновыми, так как загрязнённый воздух из ближайшего г. Кисловодск, расположенного в 18 км к северу на высоте 750-900 м, не достигает станции. ОСО по прямой солнечной радиации измеряется на ВНС с 1981 г. по 1989 г. с использованием спектрометра на базе монохроматора МДР-3, а с 1989 г. по настоящее время на спектрофотометре Brewer MkII #043. При закрытом облачностью Солнце ОСО измеряется на Brewer MkII #043 по рассеянной в зените радиации.

Измерения ОСО с использованием спектрофотометров Брюера (MkII #044) проводятся в Обнинске с 1994 г. по настоящее время, в Институте оптики атмосферы СО РАН в Томске

(МКII #049) проводились с 2006 г. по июль 2016 г., в ЦАО в г. Долгопрудный (МКIII # 222) с 2014 г. по 2016 г.

Продолжаются испытания спектрометров УФОС, предназначенных для комплексных измерений спектрального состава суммарной УФР и общего содержания озона. В ходе опытной эксплуатации происходит усовершенствование отдельных узлов приборов, программного обеспечения и методов расчета ОСО. По ряду приборов накоплены двух и трехлетние ряды параллельных с озонometрами М-124 наблюдений, демонстрирующие удовлетворительную согласованность и однородность рядов. В 2018 г. один спектрометр был установлен на станции Ташкент в Узбекистане.

Спутниковые наблюдения ОСО с помощью Фурье-спектрометра IFOS-2

В Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ) обрабатываются и анализируются измерения российского спутникового Фурье-спектрометра ИКФС-2, включая пространственно-временные вариации ОСО [Garkusha et al., 2017]. Фурье-спектрометр ИКФС-2, измеряющий уходящую длинноволновую радиацию (recording outgoing atmospheric thermal IR radiation), размещен на борту российского спутника Метеор-М N2, запущенного в июле 2014 г. ИКФС-2 предназначен для зондирования температуры и влажности атмосферы и измерений ряда климатически-важных газовых составляющих атмосферы, включая озон [Golovin et al., 2014]. Измерения ОСО проводятся с погрешностью не хуже 5 % и вертикального профиля содержания озона с погрешностью 10 % (содержание озона в 2-х или 3-х слоях атмосферы). Описание методики и оценки погрешностей измерений для безоблачной и облачной атмосферы представлено в Garkusha et al. (2017), Garkusha et al. (2018). <http://www.iki.rssi.ru/earth/articles06/vol1-224-230.pdf> Спутниковые измерения ОСО Фурье-спектрометра ИКФС-2 использовались при исследовании причин возникновения аномалий ОСО на севере Сибири зимой 2015-16 г. [Timofeyev et al., 2018]

Приземный озон

Результаты исследований приземного озона в различных регионах России и методов его прогнозирования представлены в работах специалистов ЦАО и Гидрометцентра России [Звягинцев и др., 2017, Звягинцев и др., 2018, Шалыгина и др., 2017]. Важным направлением исследований является оценка возможности прогнозирования приземного озона на основе химических транспортных моделей. В Гидрометцентре России выполнен цикл работ по верификации расчетов приземного озона ХТМ CHIMERE и COSMO-Ru7-ART с использованием данных измерений на сети мониторинга в московском регионе; предложены эффективные способы пост-процессинга модельных расчетов [Кузнецова и др., 2019, Шалыгина и др., 2017].

С помощью озонметра «DASIBI 1008AH» в Полярном геофизическом институте РАН (г. Апатиты) проводятся измерения приземной концентрации озона.

1.2. Измерения вертикального распределения озона и других малых газовых составляющих, отвечающих за разрушение озона (Profile measurements of ozone and other gases/variables relevant to ozone loss)

Наряду с измерениями ОСО осуществляются наблюдения других малых газовых составляющих. Регулярные измерения содержания NO₂ в вертикальном столбе атмосферы выполняются на Звенигородской научной станции ИФА РАН, начиная с 1990 г. Измерения выполняются с помощью спектрофотометра на базе отечественного монохроматора МДР-23. Станция входит в состав международной Сети для обнаружения изменений состава атмосферы (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change – NDACC). Данные измерений доступны на сайте NDACC (<http://www.ndacc.org/>)

Регулярные измерения профилей озона в стратосфере и мезосфере с помощью микроволнового (142.2 GHz) радиометра проводятся в Москве в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН [Kropotkina et al., 2019; Rozanov et al., 2019]. Исследуются связи вариаций озона на высотах 15-55 км с динамикой и температурным режимом стратосферы, со стратосферными потеплениями. На высотах около 90 и 65 км обнаружены вариации содержания ночного озона с периодами 3-5 часов.

На станции «Обнинск» проводятся лидарные измерения высотных профилей концентрации озона в области высот от 12 до 35 км с помощью разработанного в НПО

«Тайфун» лидара АК-3. С помощью этого лидара измеряются вертикальные профили температуры (в области высот от 26 до 72 км) и аэрозоля (от 10 до 40 км) – параметров, критически важных для интерпретации данных озоновых измерений.

В Институте прикладной физики РАН создан и введен в эксплуатацию не имеющий мировых аналогов мобильный, полностью автоматизированный наземный спектрорадиометрический комплекс с центральной частотой 110.836 ГГц, предназначенный для непрерывного мониторинга структуры озонового слоя Земли [Krasilnikov et al., 2017, Krasilnikov et al., 2017]. Отличительные особенности комплекса: широкая полоса приема и анализа (0.8 ГГц), сопряжение с цифровым анализатором спектра с разрешением 60 КГц, шумовая температура <1500 К, малое энергопотребление и вес (меньше 10 кг), калибровка измеряемого сигнала по электронно управляемому внутреннему эталону. Продемонстрировано, что применение статистического (байесового) подхода к решению некорректных обратных задач позволяет удовлетворительно восстанавливать вертикальный профиль концентрации озона в диапазоне высот от 20 до 75 км.

В Полярном геофизическом институте РАН (г. Апатиты) совместно с Институтом Прикладной Физики РАН (Нижний Новгород) проводились измерения содержания озона в средней атмосфере в течение зимних сезонов 2017-18 и 2018-19 гг. При измерении содержания O_3 в средней атмосфере использовался метод микроволновой радиометрии, оценка O_3 проводилась по частоте 110.836 ГГц. Измерения концентраций озона на высотах стратосферы и нижней мезосферы. Получены суточные временные изменения содержания O_3 в течение двух сезонов декабрь-март.

Вертикальное распределение O_3 измеряется с использованием спектрофотометра Брюера МКII #043 с 1989 г. на ВНС ИФА РАН, расположенной вблизи г. Кисловодск.

Специалистами Института Арктики и Антарктики (ААНИИ) Росгидромета в координации и при поддержке Института полярных и морских исследований им. А.Вегенера (AWI, Potsdam, Германия) выполнялись запуски озонозондов на научно-исследовательской станции "Ледовая база Мыс Баранова" (79° с.ш., 101° в.д.) в периоды максимального развития стратосферного полярного вихря в январе-марте 2014, 2016 и 2018 гг. В каждый из периодов было выпущено порядка 10 озонозондов. Результаты анализа наблюдений частично опубликованы в [Макштас 2016].

На Сибирской лидарной станции (СЛС) Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (ИОА СО РАН) в Томске (56,5° с.ш., 85° в.д.) ведутся наземные дистанционные измерения методами лазерного зондирования [Nevzogov et al., 2017; Matvienko et al., 2018] и спектрофотометрии аэрозольно-газового состава атмосферы и температуры. Измеряются рассеивающие характеристики стратосферного аэрозольного слоя, вертикальное распределение и общее содержание озона (OCO), содержание двуокси азота (NO_2), вертикальное распределение температуры от тропосферы до мезосферы.

1.3. Измерения УФ-радиации (UV measurements)

Систематические измерения приземной УФ-облученности проводятся в НПО «Тайфун» (г. Обнинск, Калужская область) диапазоне УФ-Б с использованием спектрофотометра Брюера МКII # 044.

Измерения УФ-Б радиации (УФР) проводятся на 15 станциях Росгидромета с 2006 г. по разработанной в ГГО методике озонометрами М-124 с корригирующими приставками (шар Лярше). Данные наблюдений поступают заинтересованным организациям Росгидромета.

Долговременные регулярные измерения УФ-облученности проводятся на Географическом факультете Московского государственного университета им. Ломоносова в спектральном УФ-Б диапазоне с помощью пиранометра UVB-1 YES с 1999 г., а также в диапазоне 300-380 нм - с 1968 г.

Спектральная УФ радиация в диапазоне 290-325 нм с шагом 0.5 нм измеряется с использованием спектрофотометра Brewer MkII #043 с 1991 г. на ВНС вблизи г. Кисловодск. Результаты наблюдений OCO , вертикального распределения O_3 , УФ радиации на ВНС вблизи Кисловодска, а также методы совершенствования наблюдений представлены в [Savinykh, Postylyakov 2019, Shukurov et al., 2019, Savinykh et al., 2019, Savinykh 2019, Savinykh, Postylyakov 2018, Savinykh et al., 2019, Zerefos et al., 2017].

Измерения УФ-облученности с использованием спектрофотометра Брюера (МКII #044) проводятся в Обнинске с 1994 г. по настоящее время, в Институте оптики атмосферы СО

РАН в Томске (МКII #049) проводились с 2006 г. по июль 2016 г., в ЦАО в г. Долгопрудный (МКIII # 222) с 2014 г. по 2016 г.

Научные разработки методов и технологий мониторинга атмосферного озона и УФ-облученности на территории РФ, включая прогноз максимальных значений УФ-индекса и концентрации приземного озона на трое суток вперед, выполняются в Гидрометцентре России совместно с ЦАО в рамках государственного задания. Основные результаты исследований пространственно-временной динамики ОСО, разработки методов прогнозирования УФ-индекса представлены в работах [Звягинцев и др., 2017, Звягинцев и др., 2018, Иванова и др., 2019; Никифорова и др., 2017; Иванова и др., 2018; Иванова и др., 2017; Иванова 2017].

1.4. Калибровка измерительных приборов (Calibration activities)

Спектрофотометр Брюера МКII #044 (НПО «Тайфун», г. Обнинск) проходит регулярную интеркалибровку. Последняя интеркалибровка проведена летом 2018 г. в Швейцарии (Климатическая Обсерватория г. Ароса). Калибровка озонометра Ф-105 проведена в 2018 г.

Привязка озонометров к мировой шкале осуществляется путем регулярных калибровок по эталону озонометрической сети Росгидромета (спектрофотометр Добсона #108), который находится в актинометрическом павильоне ГГО в Воейково вблизи Санкт-Петербурга и каждые 5 лет принимает участие в сличениях с европейским региональным эталоном. Отклонения российского эталона в течение последних 30 лет не превышали 1%.

В июле 2019 г. эталон Росгидромета, Добсон #108 (ГГО), принимал участие в интеркалибровке (МОНр2019), прошедшей в Региональном европейском центре по калибровке спектрофотометров Брюера и Добсона в Германии (Хоэнпайсенберг). Отклонение от регионального эталона (Добсон # 64) составило менее 1%.

В 2017 г. в Давосе (Швейцария) в рамках международных сравнений (Second International UV Filter Radiometer Calibration Campaign UVC-II) была проведена калибровка используемых на Географическом факультете МГУ им. Ломоносова двух УФ пиранометров (KZ UV-S-A-T и KZ UV-S-E-T).

В августе 2017 г. спектрофотометр Брюера (Brewer) MkII #043, используемый на ВНС ИФА РАН близи г. Кисловодск, вышел из строя, диагностика прибора, проведенная сотрудниками ИФА, выявила неисправность микросхем усилителя и деталей цоколя ФЭУ. В апреле 2018 г. прибор был отремонтирован собственными силами без приглашения иностранных специалистов, и регулярные наблюдения были возобновлены. В 2019 г. силами сотрудников ВНС было произведено восстановление работоспособности модуля внутренней калибровки Брюера по стандартной (галогеновой) лампе. Необходимые регламентные работы на спектрофотометре Брюера выполняются регулярно согласно предписаниям ВМО. Последняя калибровка спектрофотометра Брюера ВНС проводилась по эталону Brewer MkII #017 в 2012 г. в Обнинске при поддержке ВМО. Ремонт и калибровки спектрофотометров МДР-3, МДР-23 и Oriel 256i осуществляются сотрудниками Звенигородской научной станции ИФА РАН.

Имеющиеся в Институте оптики атмосферы (ИОА) Сибирского отделения РАН Dobson #14 и спектрофотометр Брюера #049 в настоящее время не используются. Спектрофотометр Dobson № 14 не эксплуатируется из-за отсутствия соглашения между ВМО и Институтом. Ввиду этого невозможно получить заключение Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК РФ) для использования иностранных технических средств наблюдения и контроля (ИТСНК) на территории России. Спектрофотометр Брюера #049, вышедший из строя после сильной грозы, удалось восстановить. Однако требуется калибровка, так как предыдущая проводилась в 2012 г.

Установленный в ЦАО (г.Долгопрудный) в 2014 г. спектрофотометр Брюера МКIII # 222 требует калибровки.

2. Результаты наблюдений и анализа (RESULTS FROM OBSERVATIONS AND ANALYSIS) (ААНИИ, ИОА, НПО "Тайфун", ЦАО, ФИАН)

Длительность однородных рядов данных об ОСО по большинству станций Росгидромета составляет более 45 лет. Ежедневно после первичного критпросмотра специалистом ЦАО, оперативные данные с российской озонометрической сети поступают на сервер ВМО и

используются для построения ежедневных комбинированных карт ОСО. Ежегодно после тщательной проверки и отбраковки, которые проводит методист сети в ГГО, массивы данных по 21-23 станциям отправляются в мировой центр данных ГСА ВМО (WOUDC).

На основе анализа данных озонметрической сети Росгидромета за период с 1975 г. по 2015 г. проведен анализ особенностей распределения и многолетних вариаций озона над территорией России [Шаламанский и др., 2018]

С использованием наблюдений спектрометров mini-SAOZ, в том числе размещенных на территории РФ, с участием специалистов ЦАО проведено исследование изменчивости озонового слоя в Арктике и влияния на него изменения климата [Pommereau et al., 2018]. Показано, что ожидаемое примерно в середине 2030-х гг. восстановление стратосферного озона может произойти значительно позже. Отмечена важность использования высокоточных наземных и спутниковых наблюдений за ОСО для уточнения определения времени восстановления озонового слоя.

Результаты анализа и обобщения информации об ОСО на российских антарктических станциях опубликованы, в частности, в статье [Сибир, Радионов, 2018]. Показано, что на всех российских антарктических станциях на протяжении примерно 30 лет с середины 1970-х гг. наблюдалась устойчивая тенденция уменьшения общего содержания озона антарктической весной. К началу 1990-х гг. весенние значения ОСО на ст. Мирный уменьшились на 70–75 % от среднего значения за 1974–1980 гг. В последующие годы эффект проявления весенней отрицательной аномалии ОСО замедлился. С начала 2000-х гг. наблюдается тенденция возвращения величин ОСО к значениям, характерным для периода, предшествовавшего проявлению эффекта озоновой дыры.

С использованием данных измерений ОСО в Томске с 1994 по 2017 г. проведено исследование колебательных циклов в поле озона различного масштаба с использованием методов статистического анализа [Баженов и др., 2019]. В частности, анализ рассчитанной автокорреляционной функции показал, что ОСО обладает внутренней взаимосвязью длительностью 5 дней, которая определялась по спаду значения коэффициента корреляции в e раз, т.е. $\exp(-1)$. В Фурье-спектре исследуемого ряда доминирующей является гармоника, отвечающая за годовые вариации ОСО. Кроме того, в спектре присутствуют и полугодовые колебания, амплитуда которых более чем на порядок меньше годовой гармоники, а вот часто упоминаемые в литературе квазидвухлетние колебания в спектре отсутствуют. Выявить их удалось при помощи процедуры сглаживания ряда скользящим средним с использованием 365 точек и усреднением по годам.

Анализ результатов измерений ОСО, концентрации приземного озона и приземной УФ-облученности, проводимых в НПО "Тайфун" (г. Обнинск) показал, что:

- годовой ход ОСО в 2017-2019 гг. изменяется не значительно и достаточно хорошо согласуется с данными предыдущих многолетних измерений, значения ОСО находятся в диапазоне 250-450 единиц Добсона (образование озоновых дыр, со значениями ОСО менее 200 единиц Добсона не зафиксировано);
- различия в режимах УФ-облученности на протяжении 2017-2019 гг. являются незначительными, а величина УФ-индекса не выходила за границы диапазона предыдущих многолетних измерений;
- условия в плане концентрации приземного озона в 2017-2019 гг. в целом оставались благоприятными, его разовые концентрации не превосходили 160 мкг/м^3 , являющегося предельно допустимой концентрацией (ПДК) по стандартам Российской Федерации.

По данным лидарных измерений проведен анализ вариаций высотных профилей концентрации озона над г. Обнинск. Наибольший размах сезонных колебаний отмечается в нижней стратосфере. В феврале-марте 2018 г. наблюдалась значительная положительная аномалия концентрации озона как в основном озоновом слое 14 -25 км, так и в верхней стратосфере 25-32 км. При этом среднезональные общие концентрации озона оставались близкими к климатической норме. Проведено исследование взаимной корреляции вариаций концентрации озона и температуры. Наблюдаемые корреляции возникают в результате совместного действия адвекции и вертикальных движений в стратосфере [Коршунов, Зубачев 2018; Зубачев Коршунов 2018].

В ИПФ РАН проведено сравнение и анализ результатов наблюдений изменчивости стратосферного озона в зимний период над Нижним Новгородом по данным наземных измерений с использованием нового озонметра (см. п.1.2), интерполяции спутниковых

наблюдений SBUV, данных реанализа MERRA и численного моделирования с использованием модели состава нижней и средней атмосферы [Ermakova et al., 2018]. Все типы данных показывают сходную картину изменчивости содержания озона в течение зимних месяцев 2016 г., основными чертами которой является наличие стабильного высотного максимума отношения смеси озона в средней стратосфере, на который накладываются кратковременные периоды увеличения его содержания озона. Результаты измерений с использованием озонметра в целом хорошо соответствуют другим типам данных, а некоторые количественные различия, характерные и для других типов данных, скорее всего, характеризуют влияние локальной изменчивости содержания озона, т.к. данные озонметра являются точечными, а остальные характеризуют усредненную изменчивость. Использование данных численного моделирования позволило оценить влияние фотохимических и динамических факторов на наблюдаемую изменчивость содержания озона в зимние месяцы в атмосфере над Нижним Новгородом. Проведенный анализ показал, что фотохимические процессы локального образования и разрушения озона не являются источником наблюдаемых кратковременных временных максимумов содержания озона. Среди динамических процессов важную роль играют меридиональные потоки переноса озона из областей насыщенных и обедненных озоном, а также локальные эффекты дивергенции и конвергенции зонального и меридионального потоков.

Однородность выполняемых наблюдений за озоном и сравнимость вновь получаемых данных с данными предыдущих десятилетий продолжает оставаться важной проблемой. Сеть полностью автоматизированных спектрофотометров Брюера, эксплуатируемая с начала 1980-х гг., является одной из старейших глобальных систем, предоставляющих данные для оценок озона. Существующее программное обеспечение для управления спектрофотометрами Брюера было создано более 35 лет назад и нуждается в замене в связи с завершением сроков эксплуатации компьютерных платформ, для которых оно было разработано. Новое кроссплатформенное программное обеспечение для спектрофотометров Brewer разрабатывается в ИФА РАН [Savinykh, Postilyakov 2018; Savinykh, Borovski, Postilyakov 2019]. Оно сможет работать на компьютерах с современными многозадачными операционными системами (Windows, Linux, macOS), и в то же время будет иметь один исходный код.

С использованием данных наземных наблюдений ОСО специалистами Крымского федерального университета, ЦАО и Гидрометцентра России выявлены существенные отрицательные аномалии ОСО на севере Сибири зимой 2016 г. [Nikiforova et al., 2017; Nikiforova et al., 2019].

С использованием наблюдений за озоном на миллиметровых волнах в ФИАН РАН исследовалось влияние внезапных стратосферных потеплений на озоновый слой над Москвой [Solomonov et al., 2017], анализировались динамические процессы, ответственные за различие в озоновом слое зимой 2014-15 и 2015-16 гг. [Kropotkina et al., 2019].

3. Теория, моделирование и другие исследования (THEORY, MODELLING, AND OTHER OZONE RELATED RESEARCH)

В Российском государственном гидрометеорологическом университете (РГГМУ) в Санкт-Петербурге исследования озонового слоя осуществляется с использованием разработанной в университете совместно с Институтом вычислительной математики РАН химико-климатическая модель (ХКМ) озоносферы. В модели учитывается изменчивость 74-х химически активных газов атмосферы, в той или иной степени влияющих на изменчивость содержания озона, а также динамические и радиационные процессы, влияющие на перенос озона в атмосфере. ХКМ использовалась для исследования изменчивости газового состава полярных районов [Смышляев и др., 2016], для исследования влияния выбросов метана из арктических газовых гидратов на содержание атмосферных газов [Черепова и др., 2018], для анализа влияния солнечной активности на газовый состав и температурный режим атмосферы [Смышляев и др. 2016; Sukhodolov et al., 2016], для исследования эффектов изменения УФ радиации под воздействием изменения содержания озона [Чубарова и др. 2018; Пастухова и др. 2019], для изучения влияния молниевых эффектов на состав и температуру атмосферы.

В ХКМ РГГМУ начали применяться методы ассимиляции данных измерений и ре-анализа температуры поверхности океана, температуры, скоростей ветра, влажности и давления. С

использованием усовершенствованной версии модели исследовались особенности изменения содержания озона в районе Санкт-Петербурга [Смышляев и др., 2017; Тимофеев и др. 2017; Виротайнен и др. 2017], на территории Арктики и Субарктики [Timofeyev et al., 2018; Швед и др. 2018; Виротайнен и др. 2018], а также влияния температуры поверхности океана на изменения состава и структуры атмосферы [Яковлев и Смышляев 2019а; Яковлев и Смышляев 2019б]. Уделялось также внимание влиянию сульфатного вулканического аэрозоля на изменение содержания атмосферного озона за счет гетерогенных химических реакций на поверхности вулканического аэрозоля [Luyang и др. 2019].

В ЦАО получены оценки возможностей прогнозирования внезапных стратосферных потеплений (ВСП), определяющих характер разрушения озонового слоя в Арктике, с использованием химико-климатической модели SOCOL и внедренной процедурой ассимиляции данных наблюдений «nudging» [Funke и др., 2017, Вязанкин и др., 2019]. Модель SOCOL является комбинацией модели общей циркуляции MAECHAM4 и химико-транспортной модели MEZON. Моделируется 118 газовых реакций, 33 реакции фотолиза и 16 гетерогенных реакций. Процедура «nudging», позволяющая улучшить воспроизведение термодинамических параметров стратосферы, останавливалась за интервалы времени от 1 до 12 суток до начала ВСП. На примере нескольких ВСП установлено, что модель SOCOL можно использовать для их прогноза на срок до 8 суток.

Специалистами ЦАО проведены исследования особенностей циркуляции стратосферы Арктики и их влияния на тропосферу и состояние озонового слоя в течение зимних сезонов 2016-17 г. [Vargin 2018], 2017-18 г. [Vargin, Kirushov, 2019]. Начиная с 2000 г. на регулярной основе в ЦАО оценивается химическое разрушение озона внутри стратосферного полярного вихря в Арктике в течение зимних сезонов с использованием данных спутниковых и баллонных измерений.

В Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе РАН проводились исследования сохраняющихся проблем химии средней атмосферы [Ларин 2018] в том числе: цепных химических процессов озоносферы [Ларин 2019], изменений химического состава средней атмосферы [Ларин 2018], вкладе O_x , HO_x , NO_x , ClO_x и BrO_x - циклов в разрушение стратосферного озона в XXI веке [Ларин 2017], нечетном кислороде и его атмосферное время жизни [Ларин 2017].

В 2017-2019 гг. на Географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова совместно с РГГМУ с использованием ХКМ ИВМ-РГМУ проведены исследования вариаций озона, облачности и эритемной радиации (Q_{ery}) над территорией Северной Евразии и, более подробно, в Московском регионе, в 1979-2015 гг. и до конца XXI века. Выявлены длиннопериодные изменения Q_{ery} , характеризующиеся заметным уменьшением в конце 1970-х гг. и значимым положительным трендом более 5% / 10 лет с 1979 по 2015 гг. для Московского региона по данным измерений и модели реконструкции [Чубарова и др. 2018]. Положительный тренд Q_{ery} связан, главным образом, с наблюдающимся уменьшением эффективного балла облачности и сокращением ОСО. За счет этих изменений существенно изменились УФ ресурсы весной для населения с наиболее уязвимым 1-м типом кожи, что проявляется в переходе от условий УФ оптимума к условиям УФ умеренной избыточности. Модельные эксперименты с ХКМ ИВМ-РГМУ для нескольких сценариев с учетом и без учета антропогенных факторов показали, что вариации антропогенных эмиссий фреонов и галонов оказывают наибольшее воздействие на изменчивость ОСО и Q_{ery} в Московском регионе. Среди естественных факторов особенно заметные эффекты наблюдаются за счет выбросов вулканического аэрозоля. Расчеты облачного пропускания Q_{ery} в целом согласуются с данными измерений, однако они не воспроизводят наблюдающийся положительный тренд этой величины [Чубарова и др. 2018].

В зависимости от используемых в модельных расчетах данных температуры поверхности океана наблюдаются некоторые различия в трендах ОСО [Пастухова и др. 2019]. Результаты модельного эксперимента, учитывающего изменения антропогенных выбросов галогенсодержащих веществ, свидетельствуют о нелинейном уменьшении Q_{ery} за счет восстановления озонового слоя в XXI веке. В 2016-2020 гг. значения Q_{ery} на 2-5% выше относительно уровня 1979-1983 гг. в среднем по всей северной Евразии с максимумом порядка 6% в полярных широтах. В 2035-2039 гг. величина Q_{ery} выравнивается, а дальше постепенно снижается относительно значений за 1979-1983 гг. на 4-6% в азиатской части и на 6-8% над северной Европой в 2055-2059 гг. По этой причине наблюдается изменение

границ классов УФ ресурсов. Наибольшие изменения в пространственном распределении УФ ресурсов будут наблюдаться весной и летом: эти изменения проявляются в расширении областей УФ недостаточности на севере и сокращение областей УФ избыточности на юге [Пастухова и др. 2019].

По данным наблюдений в Метеорологической обсерватории МГУ проведены исследования Q_{O_3} , чувствительной к вариациям озонового слоя [Schmalwieser et al., 2017], которые выявили замедление ее роста в последние годы, начиная с 2015 г.

Совместно со специалистами Физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета проанализированы условия отрицательных аномалий озона в Сибири. Показано, что для Q_{O_3} в высоких широтах понижение ОСО зимой даже до уровней так называемой озоновой дыры не является критичным. В то время как гораздо меньшие изменения озона в начале весны могут приводить уже к опасным уровням эритемной УФ радиации, когда требуется защита от солнечного излучения [Chubarova et al., 2018]

В НПО "Тайфун" на основе сопоставления данных наземных станций наблюдения (Хиангхе, Кунминг и Иссык-Куль), а также спутниковых измерений SBUV, OMI и TOU (Total Ozone Unit на борту FengYun-3/A) исследована временная изменчивость ОСО в регионе горных массивов Средней Азии и Тибетское плато. Полученные результаты продемонстрировали схожесть распределения амплитуд и периодов колебаний ОСО на протяжении более 14 месяцев для всех анализируемых данных [Visheratin et al., 2017].

Проведен анализ фазовых соотношений между вариациями солнечной активности (СА) и квазидесятилетними вариациями (КДВ) ОСО по данным спутниковых измерений, а также ряда параметров нижней стратосферы (температура, геопотенциальная высота, скорость меридионального и зонального ветра) по данным реанализа NCEP. Фаза максимумов КДВ ОСО в среднем опережает максимумы солнечной активности в северных умеренных и высоких широтах на 20 мес. и отстает на 21 мес. в высоких широтах Южного полушария [Visheratin, Kalashnik 2018, Visheratin 2017].

На основе спутниковых данных из баз SBUV/SBUV2 (65° ю.ш. – 65° с.ш.) и Bodeker Scientific (90° ю.ш. – 90° с.ш.) проведен анализ пространственно-временной изменчивости фазовых соотношений между 11-летним циклом солнечной активности и КДВ ОСО методами композитного и кросс-вейвлетного анализа. Получено, что в последние два десятилетия КДВ ОСО в Арктике и Антарктике происходят примерно в противофазе.

В ИПФ РАН впервые проведено комплексное исследование выполнимости условия дневного фотохимического равновесия озона на высотах мезосферы – нижней термосферы, широко используемого для восстановления дневных распределений O и N по данным измерений озона и свечений возбужденных состояний молекулярного кислорода и гидроксила [Kulikov et al., 2017; Belikovich et al., 2018; Kulikov et al., 2018]. На основании результатов 3D химико-транспортного моделирования годового цикла фотохимии данной области атмосферы рассчитано отношение реальной концентрации озона к его локальному равновесному значению в зависимости от высоты, широты и сезона. Ночное условие фотохимического равновесия озона хорошо (с отклонением и дисперсией менее 10%) выполняется выше некоторой границы, чье положение варьируется в диапазоне высот 81-87 км и крайне сложным образом зависит от координат и сезона.

В ИПФ РАН разработан статистически корректный метод валидации одновременных измерений нескольких атмосферных компонент при условии фотохимического равновесия [Kulikov et al., 2018; Belikovich et al., 2019]. В качестве примера рассмотрены данные одновременных измерений OH, HO_2 , и O_3 на высотах мезосферы и их дневное фотохимическое равновесие. Найдено упрощенное алгебраическое соотношение, связывающее локальные концентрации данных компонент в диапазоне высот 50-100 км, параметрами которого являются только температура и концентрация воздуха, а так же константы 9-ти химических реакций.

4. Распространение результатов (DISSEMINATION OF RESULTS)

Данные систематических измерений ОСО, приземной УФ-облученности, а также информация о максимальных значениях УФ-индекса на ст. «Обнинск» архивируются и хранятся в базе данных «НПО «Тайфун». Результаты измерений регулярно передаются в мировой центр данных (WOUDC) в Канаде, а также в «Гидрометцентр России» для выполнения работ по программам Росгидромета.

Данные систематических лидарных измерений концентрации озона на высотах от 12 до 35 км на ст. «Обнинск» архивируются и хранятся в базе данных «НПО «Тайфун».

Каждый год ГГО предоставляет аналитические материалы для обзора состояния и загрязнения окружающей среды и доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации. В материалах традиционно отражаются особенности состояния озонового слоя за год и многолетние тренды и вариации ОСО над территорией Российской Федерации. Информация о текущей ситуации публикуется на сайте ГГО <http://voeikovmgo.ru>

Данные измерений УФ-Б (UV-B) радиации с полуденными значениями с 15 станций Росгидромета ежедневно направляются в Гидрометцентр России, ЦАО и Росгидромет.

Данные наблюдений ОСО на российских антарктических станциях оперативно передаются в ВМО для публикации в бюллетенях о состоянии озонового слоя в Антарктике: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone/index.html>.)

4.1. Информирование о данных наблюдений (Data reporting)

Данные наблюдений станций с помощью озонметров М-124 оперативно поступают в ЦАО, ГГО и Гидрометцентр России. ЦАО оперативно проводит первичный контроль качества данных, архивирует их и передает в WOUDC. Эти данные совместно с данными из других стран используются там для ежедневного отображения полей ОСО. В ЦАО оперативно строятся карты распределения ОСО над территорией России и сопредельных стран, выявляются аномалии и анализируются причины их возникновения. При выявлении существенных аномалий в полях ОСО и УФ радиации ЦАО оперативно информирует Росгидромет. В ГГО данные проходят более тщательный контроль качества, по итогам которого делается вывод о качестве работы отдельных приборов и станций, проводится корректировка данных и уже скорректированные данные передаются в WOUDC.

В WOUDC также регулярно передаются результаты наблюдений ОСО и УФ радиации с помощью спектрофотометра Брюера на станциях Кисловодск, Обнинск.

Данные регулярных измерения ОСО и NO₂ в Санкт-Петербурге в вертикальном столбе атмосферы, измеренные с помощью спектрометра, созданного на основе отечественного сканирующего монохроматора МДР-12 (ЛОМО), начиная с 2004 г. доступны на сайте http://troll.phys.spbu.ru/Personal_pages/lonov/welcome.html

Данные измерений содержания NO₂ в стратосферном столбе и в пограничном слое атмосферы на Звенигородской научной станции ИФА регулярно поступают в NDACC и находятся в открытом доступе (<http://www.ndacc.org/>).

4.2. Информирование общества (Information to the public)

ЦАО ежеквартально публикует в журнале «Метеорология и гидрология» (англоязычная версия распространяется издательством «Springer») обзоры с текущим анализом состояния озонового слоя над Россией. Такие же сведения публикуются в ежегодных «Докладах об особенностях климата на территории Российской Федерации» и «Обзорах состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации», подготавливаемых Росгидрометом.

Прогнозы высоких значений УФ-индекса на текущие и вторые сутки с указанием территории с опасным явлением и рекомендациями защитных мер для разных групп населения размещаются на сайте Гидрометцентра России (<http://meteoinfo.ru/>).

4.3 Соответствующие научные публикации (Relevant scientific papers)

Обзоры научных публикаций (Reviews of scientific publications):

Elansky N.F. Ozone. Russian National Report: Meteorology and Atmospheric Sciences: 2015–2018: for the XXVII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (Montreal, Canada, July 8–18, 2019) / Ed.: I. I. Mokhov, A. A. Krivolutsky. – Moscow: MAK Press, 2019. – 332 p. <http://ebooks.wdcb.ru/2019/2019IAMAS/2019IAMAS.pdf>

Исследовательские публикации (Original papers):

1. Sibir E.E., Radionov V.F. Total ozone variations at Russian Antarctic stations. Results of long-term observations. Arctic and Antarctic Research. V.64, No 3, p. 250-261, 2018. (in Russian).

2. Макштас А.П. Существенное уменьшение содержания озона в Арктической стратосфере зимой 2016 г. Российские полярные исследования, 2016, № 2 (24), с.9-10
3. Visheratin K. N., Kalashnik M. V. Quasidecadal Variations of Lower Stratosphere Meteorological Parameters and Total Ozone Global Fields Based on Satellite Data. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 54, No. 9, p. 1068-1075, 2018.
4. Visheratin K. N. Spatio-temporal Variability of the Phase of Total Ozone Quasi-Decennial Oscillations. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 53, No. 9, p. 904–910, 2017.
5. Visheratin K.N., Nerushev A.F., Orozaliev M.D., Xiangdong Z., Shumen S., Li L. Temporal Variability of Total Ozone in the Asian Region Inferred from Ground-Based and Satellite Measurement Data. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 53, No. 9, p. 894–903, 2017.
6. Redondas A., Carreno V., Leon-Luis S., Hernandez-Cruz B., Lopez-Solano J., Rodriguez-Franco J., Vilaplana J., Grobner J., Rimmer J., Bais A., Savastiouk V., Moreta J., Boulkella L., Jepsen N., Wilson K., Shiroto V., Karppinen T. EUBREWNET RBCC-E Huelva 2015 Ozone Brewer Intercomparison. *Atmospheric Chemistry and Physics*, V.18, p. 9441–9455, 2018.
7. Zubachev D.S., Korshunov V.A., Tereb N.V. Concentration of Stratospheric Ozone Derived from Lidar, Satellite, Surface Observations. *Russian Meteorology and Hydrology*. V. 43, No 7, p. 488-493, 2018.
8. Korshunov V.A., Zubachev D.S. Temporal Variations in the Vertical Distribution of Stratospheric Ozone over Obninsk from Lidar Data. *Russian Meteorology and Hydrology*. V. 43, No 3, p. 168-177, 2018.
9. Krasilnikov A.A., Kulikov M.Yu., Kukin L.M., Ryskin V.G., Fedoseev L.I., Shvetsov A.A., Bolshakov O.S., Shchitov A.M., Feigin A.M. Automated Microwave Radiometer for Measuring the Atmospheric Ozone Emission Line. Instruments and Experimental Techniques, V. 60, No. 2, p. 271–273, 2017.
10. Krasilnikov A.A., Kulikov M. Yu., Ryskin V.G., Fedoseev L.I., Shvetsov A.A., Bozhkov V.G., Bolshakov O.S., Calibration system for microwave radiometers based on modulator-calibrator. Instruments and Experimental Techniques, V. 60, No. 5, p. 701-704, 2017.
11. Ermakova T.S., Smyshlyaev S.P., Kulikov M.Yu., Belikovich M.V., Krasilnikov A.A., Ryskin V.G., Nechaev A.A., Feigin A.M. Ozone Content Variability in the Atmosphere Above Nizhny Novgorod. Comparison of the Results of the Radiometric and Satellite Measurements, Reanalysis, and Numerical Simulation. *Radiophysics and Quantum Electronics*, V. 60, No 8, p. 640–652, 2018.
12. Kulikov M. Y., Belikovich M. V., Grygalashvyly M., Sonnemann G. R., Ermakova T. S., Nechaev A. A., Feigin A. M. Daytime ozone loss term in the mesopause region, *Ann. Geophys.*, V. 35, p. 677-682, 2017.
13. Belikovich M. V., Kulikov M. Y., Grygalashvyly M., Sonnemann G. R., Ermakova T. S., Nechaev A. A., Feigin A. M. Ozone chemical equilibrium in the extended mesopause under the nighttime conditions, *Advances in Space Research*, V. 61, No 1, p. 426-432, 2018..
14. Kulikov M.Yu., Belikovich M.V., Grygalashvyly M., Sonnemann G.R., Ermakova T.S., Nechaev A.A., Feigin A.M. Nighttime ozone chemical equilibrium in the mesopause region. *J. Geop. Res.* V.123, p.3228-3242, 2018.
15. Kulikov M. Yu., Nechaev A. A., Belikovich M. V., Vorobeva E. V., Grygalashvyly M., Sonnemann G. R., Feigin A. M. Boundary of nighttime ozone chemical equilibrium in the mesopause region from SABER data: Implications for derivation of atomic oxygen and atomic hydrogen. *Geophys. Res. Lett.*, V. 46 (2), p. 997–1004, 2019.
16. Kulikov M. Y., Nechaev A. A., Belikovich M. V., Ermakova T. S., Feigin A. M. Technical note: Evaluation of the simultaneous measurements of mesospheric OH, HO₂, and O₃ under a photochemical equilibrium assumption – a statistical approach, *Atmos. Chem. Phys.*, V. 18, p.7453-7471, 2018.
17. Belikovich M. V., Kulikov M. Y., Nechaev A. A., Feigin A. M. Evaluation of the Atmospheric Minor Species Measurements: a Priori Statistical Constraints Based on Photochemical Modeling. *Radiophys. Quantum Electron.*, V. 61 No. 8-9, p.574-588, 2019.
18. Pommereau J-P., Goutail F., Pazmino A., Lefevre F., Chipperfield M., Feng W., Roozendael M., Jepsen N., Hansen G., Kivi R., Bognar K., Strong K., Walker K., Kuzmichev A., Khattatov S., Sitnikova V. Recent Arctic ozone depletion: Is there an impact of climate change? *Comptes Rendus Geoscience*, 2018, V. 350, p.347–353
19. Vargin P.N., Kirushov B.M. Major sudden stratospheric warming in February 2018 and its impacts on troposphere, mesosphere and ozone layer. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2019, V. 44, p.112-123.
20. Vargin P. Stratosphere-troposphere dynamical coupling over boreal extratropics during sudden stratospheric warming in Arctic in January-February 2017. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2018, V. 43, No 5, p. 277-287.
21. Vyzankin A.S., Zvetkova N.D., Vargin P.N., Yushkov V.A. Atmospheric modeling to provide movement control of the descent vehicle. *Vestnik «NPO im. Lavochkina»*, 2019. No 3, p. 72-79 (in Russian)
22. Funke B., Ball W., Bender S., Gardini A., Lynn Harvey V., Lambert A., López-Puertas M., Marsh D., Meraner K., Nieder H., Päiväranta S-M., Pérot K., Randall C., Reddmann T., Rozanov E., Schmidt H., Seppälä A., Sinnhuber M., Sukhodolov T., Stiller G., Tsvetkova N., Verronen P., Versick S., von Clarmann T., Walker K., Yushkov V. HEPPA-II model-measurement intercomparison project: EPP indirect effects during the dynamically perturbed NH winter 2008–2009. *Atmos. Chem. Phys.*, V. 17, p.3573–3604, 2017.

23. Nikiforova M.P., Vargin P.N., Zvyagintzev A.M. Ozone layer anomalies over Russia during the winter season of 2015-16. *Russian Meteorology and hydrology*, 2019, V. 44, No 1, p.36-49
24. Nikiforova M.P., Zvyagintsev A.M., Vargin P.N., Ivanova N.S., Lukyanov A.N., Kuznetsova I.N. Anomalously low total ozone levels over the Northern Urals and Siberia in late January 2016. *Atmospheric and oceanic optics*. 2017. V. 30. No. 3. p. 255-262.
25. Nikiforova M.P., Vargin P.N., Zvyagintsev A.M., Ivanova N.S., Kuznetsova I.N., Lukyanov A.N. Ozone mini-hole over Northern Ural and Siberia. *Proceedings of the Hydrometecentre of Russia*. 2016. V. 365, p.168-180 [in Russian].
26. Krivolutsky A.A., Vyushkova T.Yu., Mironova I.A. Changes in the chemical composition of the atmosphere in the polar regions of the Earth after solar proton flares (3D modeling). *Geomagnetism and Aeronomy*, V. 57, No 2, p. 156–176, 2017.
27. Gruzdev A.N., Kropotkina E.P., Solomonov S.V., Elokhov A.S. Winter–Spring Anomalies in Stratospheric O₃ and NO₂ Contents over the Moscow Region in 2010 and 2011. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 53, No. 2, p. 195-203, 2017.
28. Solomonov S.V., Kropotkina E.P., Rozanov S.B., Ignatev A.N., Lukin A.N. Influence of Strong Sudden Stratospheric Warmings on Ozone in the Middle Stratosphere According to Millimeter Wave Observations. *Geomagnetism and Aeronomy*, V. 57, No. 3, p. 361-368, 2017.
29. Rozanov S.B., Zavgorodniy A.S., Solomonov S.V., Kropotkina E.P., Lukin A.N., Ignatyev A.N. Microwave measurements of stratospheric and mesospheric ozone in Moscow. *Proc. 38th International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS 2018*, 22-27 July 2018, Valencia. p. 3116-3119.
30. Kropotkina E.P., Solomonov S.V., Rozanov S.B., Ignatyev A.N., Lukin A.N. Peculiarities of ozone content changes in the upper stratosphere over Moscow in the cold half of the years 2014-2015 and 2015-2016. *Geomagnetism and Aeronomy*, V. 59, No. 2, p. 212-220, 2019.
31. Rozanov S.B., Zavgorodniy A.S., Lukin A.N. Microwave spectrometer for ground-based measurements of the stratospheric and mesospheric ozone. *Proc. Europ. Microwave Conf. in Central Europe*, 13-15 May 2019, Prague (EuMCE'2019), 634 p. - P.600-603.
32. Rozanov S.B., Zavgorodniy A.S., Ignatyev A.N. Microwave measurements of variations in night mesospheric ozone over Moscow. *Proc. SPIE Remote Sensing 2019*, 9-12 Sept. 2019, Strasbourg.
33. Асмус В.В., Ю.М. Тимофеев, А.В. Поляков, А.Б. Успенский, Ю.М. Головин, Ф.С. Завелевич, Д.А. Козлов, А.Н. Рублев, А.В. Кухарский, В.П. Пяткин, Е.В. Русин, Температурное зондирование атмосферы по данным спутникового ИК Фурье-спектрометра. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 53, 4, 487–492, 2017.
34. Березин И. А., Ю.М. Тимофеев, Я.А. Виролайнен, И.С. Французова, К.А. Волкова, А.В. Поберовский, Б.Н. Холбен, А.В. Смирнов, И. Слуцкер, Анализ погрешностей измерения интегрального влагосодержания атмосферы фотометром CIMEL. *Изв. РАН, ФАО*, 53, 01, 66–73, 2017.
35. Волкова К.А., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М., Ионов Д.В., Holben B.N., Smirnov A., Slutsker I., Аэрозольные оптические характеристики по данным измерений солнечного фотометра CIMEL (AERONET) вблизи Санкт-Петербурга. *Оптика атмосферы и океана*. 31, 6, 425–431, 2018.
36. Chubarova N.E., Pastukhova A.S., Galin V.Ya, Smyshlyaev S.P. Long-Term Variability of UV Irradiance in the Moscow Region according to Measurement and Modeling Data. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 54, No, p. 139-146, 2018.
37. Chubarova N.E., Timofeev Yu.M., Virolainen Ya.A., Polyakov A.V. Estimates of UV indices during the periods of reduced ozone content over Siberia in winter–spring 2016. *Atmospheric and oceanic optics*. V. 32. No. 2, p.177-179, 2019.
38. Chubarova N.E., Pastukhova A.S., Galin V.Y., Smyshlyaev S.P. Long-Term Variability of UV Irradiance in the Moscow Region according to Measurement and Modeling Data - *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 54, No. 2, p. 139–136, 2018.
39. Гаркуша А.С., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Виролайнен Я.А. Определение общего содержания озона по данным измерений спутникового ИК Фурье-спектрометра. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 53, 4, p. 493–501, 2017.
40. Garkusha A. S., Polyakov A. V., Timofeev Yu. M., Virolainen Ya. A. Determination of the total ozone content from data of IRFS-2 spectral measurements onboard "Meteor-M" No. 2, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 53, p.433–440, 2017.
41. Garkusha A. S., Polyakov A. V., Timofeev Yu. M., Virolainen Ya. A., Kuharsky, A. V. Determination of the total ozone content from measurements of the IRFS-2 satellite IR spectrometer in a cloudy atmosphere (Meteor-M No. 2), *Исследование Земли из Космоса*, 2, p. 58–64, 2018 (in Russian).
42. Jakovlev, A.R., Smyshlyaev, S.P. Impact of the Southern Oscillation on Arctic Stratospheric Dynamics and Ozone Layer. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 55, No 1, p. 86-98, 2019.
43. Ионов Д.В., А.В. Поберовский, Интегральная эмиссия окислов азота с территории Санкт-Петербурга по данным мобильных измерений и результатам численного моделирования. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 53, 2, 232–241, 2017.
44. Ионов Д.В., А.В. Поберовский, В.В. Ионов, Дистанционные спектроскопические измерения содержания NO₂ в городском воздухе. *Журнал прикладной спектроскопии*, 84, 1, 127–131, 2017

45. Ионов Д.В., Калинин В.В., Тимофеев Ю.М., Зайцев Н.А., Виролайнен Я.А., Косцов В.С., Поберовский А.В. Сравнения радиофизических и оптического ИК наземных методов измерений интегрального содержания водяного пара в атмосфере. *Изв. ВУЗов, Радиофизика*, 4, 336–345, 2017.
46. Козлов Д.А., Ю.М. Тимофеев, А.В. Поляков, И.А. Козлов, В. Дёлер, Д. Ортель, Д.Шпенкух, Методика пересчета спектров теплового излучения атмосферы различного спектрального разрешения для взаимного сопоставления измерений бортовых инфракрасных Фурье-спектрометров. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 15, 1, 52–60, 2018
47. Luyang Xu, Ke Wei, Xue Wu, S. P. Smyshlyaev, Wen Chen, V. Ya. Galin, The Effect of Super Volcanic Eruptions on Ozone Depletion in a Chemistry-Climate Model. *Advances in Atmospheric Sciences*, V. 36, No 8, p. 823–836, 2019.
48. Pastukhova A., N. Chubarova, Ye. Zhdanova, V. Galin, S. Smyshlyaev, Numerical Simulation of Variations in Ozone Content, Erythemat Ultraviolet Radiation, and Ultraviolet Resources over Northern Eurasia in the 21st Century. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. V. 55, No 3, p. 242-255, 2019.
49. Черепова М. В., Смышляев С. П., Макарова М. В., Поберовский А. В., Тимофеев Ю. М., Швед Г. М. Исследование короткопериодной изменчивости общего содержания метана в атмосфере в региональном масштабе. *Изв. РАН. ФАО*, 54, 7, 659–671, 2018.
50. Поляков А.В., Ю.М. Тимофеев, Я.А. Виролайнен, М.В. Макарова, А.В. Поберовский, Х. Имхасин Наземные измерения общего содержания фреонов в атмосфере в окрестности Санкт-Петербурга (2009–2017 гг.). *Изв. РАН. ФАО*, 54, 5, 575–583, 2018.
51. Ракитин В.С., Еланский Н.Ф., Панкратова Н.В., Скороход А.И., Джола А.В., Штабкин Ю.А., Ван Пусай, Ван Ген Чен., Васильева А.В., Макарова М.В., Гречко Е.И. Исследование трендов общего содержания СО и СН₄ над Евразией на основе анализа наземных и орбитальных спектроскопических измерений. *Оптика атмосферы и океана*, V. 30, 6, p.449–456., 2017.
52. Черепова М. В., Смышляев С. П., Макарова М. В., Поберовский А. В., Тимофеев Ю. М., Швед Г. М. Исследование короткопериодной изменчивости общего содержания метана в атмосфере в региональном масштабе. *Изв. РАН. ФАО*, 54, 7, 659–671, 2018.
53. Макарова М.В., Арабаджян Д.К., Фока С.Ч., Парамонова Н.Н., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М., Панкратова Н.В., Ракитин В.С. Оценка ночных эмиссий углеродосодержащих газов в пригородах Санкт-Петербурга. *Метеорология и гидрология*, 7, 36–44, 2018.
54. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В., Виролайнен Я.А., Учет высоких приземных концентраций атмосферных паров соляной кислоты при наземных спектроскопических измерениях. *Оптика атмосферы и океана*, 28, 02, 153–158, 2015.
55. Поляков А.В., Я.А. Виролайнен, М.В. Макарова, Методика обращения спектров прозрачности для измерения концентрации фреонов *Журнал прикладной спектроскопии*, 85, 6, 962–970, 2018.
56. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Успенский А.Б., Кухарский А.В. Спутниковый атмосферный зондировщик ИКФС-2. 2. Валидация результатов температурного зондирования атмосферы. *Исследование Земли из космоса*, 1, 81–90, 2018.
57. Schmalwieser A.W., Gröbner J., Klotz B., Blumthaler M., de Backer H., Bolsee D., Werner R., Tomsic D., Metelka L., Eriksen P., Jepsen N., Aun M., Heikkilä A., Duprat T., Sandmann H., Weiss T., Bais A., Toth Z., Siani A., Vaccaro L., Diemzen H., Lorenzetto G., Grifoni D., Zipoli G., Petkov B., Sarra A., Massen F., Yousif C., Aculinin A., Outer P., Svendby T., Dahlback A., Johnsen B., Biszczuk-Jakubowska J., Krzyscin J., Henriques D., Chubarova N., Kolarz P., Mijatovic Z., Pribulova A., Grosej D., Bilbao J., González J., Guerrero J., Serrano A., Andersson S., Vuilleumier L., Webb A., Hagan J. UV Index monitoring in Europe. *Photochemical & Photobiological Sci.*, Royal Society of Chemistry (United Kingdom), 16, p. 1349-1370, 2017
58. Smyshlyaev S.P., Virolainen Y., Motsakov M.A., Timofeyev Y.M., Poberovsky A.V., Polyakov A.V. Interannual and seasonal ozone variability in the several altitude regions near Saint-Petersburg based on the observations and numerical modeling. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 53, p. 1–17, 2017.
59. Shved G.M., Virolainen Y.A., Timofeyev Y.M., Ermolenko S.I., Smyshlyaev S.P., Motsakov M.A., Kirner O. Ozone Temporal Variability in the Subarctic Region: Comparison of Satellite Measurements with Numerical Simulations. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. V. 54, No. 1, p. 32-38, 2018.
60. Тимофеев Ю.М., А. В. Поляков, Д. А. Козлов, В. Делер, Д. Ортель, Д. Шпенкух. Сопоставление спектров уходящего теплового ИК излучения разных лет. *Исслед. Земли из космоса*, No.5, 65-72, 2018
61. Тимофеев Ю.М., А.В. Поляков, В. Делер, Д. Шпенкух, Д. Ортель. Анализ спектров уходящего теплового излучения, измеренных аппаратурой SI-1. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 15, 3, 236–242, 2018.
62. Timofeyev Y. M., Smyshlyaev S. P., Virolainen Y. A., Garkusha A. S., Polyakov A. V., Motsakov M. A., Kirner O. Case study of ozone anomalies over northern Russia in the 2015/2016 winter: measurements and numerical modelling, *Ann. Geophys.*, V. 36, p. 1495–1505, 2018;
63. Timofeyev Y.M., Virolainen Y., Smyshlyaev S.P., Motsakov M.A. Ozon over Saint-Petersburg: Observations and Numerical Modeling Intercomparison. *Atmospheric and Oceanic Optics*. V. 30, No 3, p.263-268, 2017.

64. Виролайнен Я.А. Методические аспекты определения содержания углекислого газа в атмосфере с помощью ИК-фурье-спектрометрии. *Журнал прикладной спектроскопии*, V. 85, No 3, p. 453–460, 2018.
65. Virolainen Y.A., Timofeev Y.M., Berezin I.A. Smyshlyaev S.P., Motsakov M.A., Kirner O. Validation of Atmospheric Numerical Models Based on Satellite Measurements of Ozone Columns. *Russian Meteorology and Hydrology*. V. 43, No 3, p. 161-167, 2018.
66. Virolainen Y.A., Timofeyev Y.M., Smyshlyaev S.P., Motsakov M.A., Kirner O. Study of Ozone Layer Variability near St. Petersburg on the Basis of SBUV Satellite Measurements and Numerical Simulation (2000–2014). *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. V. 53, No 9, p. 911–917, 2017.
67. Виролайнен Я.А., Ю.М. Тимофеев, А.В. Поберовский, А.В. Поляков, А.М. Шаламянский, Эмпирические оценки погрешностей измерений общего содержания озона различными методами и приборами. *Оптика атмосферы и океана*, 30, 2, 170–176, 2017.
68. Virolainen Y. A., Timofeyev Y. M., Kostsov V. S., Ionov D. V., Kalinnikov V. V., Makarova M. V., Poberovsky A. V., Zaitsev N. A., Imhasin H. H., Polyakov A. V., Schneider M., Hase F., Barthlott S., Blumenstock T. Quality assessment of integrated water vapour measurements at St. Petersburg site, Russia: FTIR vs. MW and GPS techniques. *Atmos. Meas. Tech.*, V. 10, p. 4521–4536, 2017
69. Vigouroux, C., Bauer Aquino, C. A., Bauwens, M., Becker, C., Blumenstock, T., De Mazière, M., García, O., Grutter, M., Guarin, C., Hannigan, J., Hase, F., Jones, N., Kivi, R., Koshelev, D., Langerock, B., Lutsch, E., Makarova, M., Metzger, J.-M., Müller, J.-F., Notholt, J., Ortega, I., Palm, M., Paton-Walsh, C., Poberovskii, A., Rettinger, M., Robinson, J., Smale, D., Stavrakou, T., Stremme, W., Strong, K., Sussmann, R., Té, Y., Toon, G.: NDACC harmonized formaldehyde time series from 21 FTIR stations covering a wide range of column abundances, *Atmos. Meas. Tech.*, V. 11, p. 5049-5073, 2018.
70. Wang P., N. F. Elansky, Yu. M. Timofeev, G. Wang, G. S. Golitsyn, M. V. Makarova, V. S. Rakitin, Yu. Shtabkin, A. I. Skorokhod, E. I. Grechko, E.V. Fokeeva, A. N. Safronov, L. Ran, T. Wang, Long-Term Trends of Carbon Monoxide Total Columnar Amount in Urban Areas and Background Regions: Ground- and Satellite-based Spectroscopic Measurements. *Adv. Atmos. Sci.*, 35, 7, 785–795. 2018
71. Ageyeva V.Yu., Gruzdev A.N. Seasonal features of quasi-biennial variations of NO₂ stratospheric content derived from ground-based measurements. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. V. 53. No 1. p. 65–75, 2017.
72. Gruzdev A.N., Kropotkina E.P., Solomoniou S.V., Elokhov A.S. Winter-Spring anomalies in stratospheric O₃ and NO₂ contents over the Moscow region in 2010 and 2011. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. V. 53. No 2. p. 195–203, 2017.
73. Ageyeva V.Yu., Gruzdev A. N., Elokhov A.S., Mokhov I.I., Zueva N.E. Sudden stratospheric warmings: Statistical characteristics and influence on NO₂ and O₃ total contents. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2017. V. 53. No 5. p. 477–456, 2017. .
74. Ageyeva V.Yu., Gruzdev A.N., Elokhov A.S. Increase in the stratospheric NO₂ content derived from results of ground-based observations after the October 2003 solar proton event. *Doklady Earth Sciences*. V. 479. Part 2. p. 539–542, 2018.
75. Gruzdev A.N., Ageyeva V.Yu., Elokhov A.S. Changes in vertical distribution and column content of NO₂ under the influence of sudden stratospheric warmings. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 54, no 4, p. 354–363, 2018.
76. Gruzdev A.N. Accounting for autocorrelation in the linear regression problem by an example of analysis of the atmospheric column NO₂ content. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019, V. 55, No 1, p. 65–72, 2019.
77. Savinykh V.V., Postilyakov O.V. Implementing the Model/View architecture in software of Brewer Network Spectrophotometer for long-term monitoring of UV radiation and ozone atmospheric content. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 231, 012045, 2019.
78. Shukurov K.A., Postilyakov O.V., Borovski A.N., Shukurova L.M., Gruzdev A.N., Elokhov A.S., Savinykh V.V., Mokhov I.I., Semenov V.A., Chkhetiani O.G., Senik I.A. Study of transport of atmospheric admixtures and temperature anomalies using trajectory methods at the A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 231, 012048, 2019.
79. Savinykh V.V., Borovski A.N., Postilyakov O.V. Model of development of cross-platform software for ozone and ultraviolet radiation measurements on the example of Brewer Spectrophotometer. Proc. SPIE 11208, 2019.
80. Savinykh V.V. On development of cross-platform operating software for Brewer Spectrophotometer // 17th WMO-GAW Brewer Operator Course (AEMET, INTA), 17 - 21 June 2019, Huelva, Spain, 2019, poster.
81. Savinykh V.V., Postilyakov O.V. On development of cross-platform software to continue long-term observations with the Brewer Ozone Spectrophotometer. Proc. SPIE 10786, Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXIII, 107860V, 2018.
82. Savinykh V.V., Borovski A.N., Postilyakov O.V., Dormidontov D.V. Cross-platform software to continue long-term observations with the Brewer spectrophotometer in the face of changing computer

platforms: Implementing the Model-View architecture. Proc. SPIE 10833, 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 1083363, 2018.

83. Zerefos C.S., Eleftheratos K., Kapsomenakis J., Solomos S., Inness A., Balis D., Redondas A., Eskes H., Allaart M., Amiridis V., Dahlback A., De Bock V., Diémoz H., Engelmann R., Eriksen P., Fioletov V., Gröbner J., Heikkilä A., Petropavlovskikh I., Jaroslowski J., Josefsson W., Karppinen T., Köhler U., Meleti C., Repapis C., Rimmer J., Savinykh V., Shirov V., Siani A.M., Smedley A.R.D., Stanek M., Stübi R. Detecting volcanic sulfur dioxide plumes in the Northern Hemisphere using the Brewer spectrophotometers, other networks, and satellite observations. *Atmos. Chem. Phys.*, 17(1), 551-574, 2017.

84. Демин В.И., Шишаев В.А. Концентрации приземного озона в г. Апатиты в аномально жаркие периоды 2018 г. *Proceedings of the 42nd Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena" 11-15 March 2019*. Polar Geophysical Institute, Apatity, 2019.

85. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Никифорова М.П. Мониторинг общего содержания озона и УФ облученности: основные результаты. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2017. Т. 28. № 6. С. 85-98.

86. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А. Содержание озона над территорией РФ в 2017 г. *Метеорология и гидрология*. 2018. № 2. С. 138-144.

87. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А. Содержание озона над территорией РФ в 2016 г. *Метеорология и гидрология*. 2017. № 2. С. 132-136.

88. Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А. Содержание озона над территорией РФ в 2018 г. *Метеорология и гидрология*. 2019. № 2. С. 138-144.

89. Иванова Н.С., Кузнецова И.Н., Сумерова К.А. Аномалии атмосферного озона в феврале - марте 2018 г. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2018. No. 4 (370). С. 36-47

90. Иванова Н.С. Сравнение наземных и спутниковых результатов измерения общего содержания озона. *Труды Гидрометеорологического Научно-Исследовательского Центра Российской Федерации*. 2017. No 365. С. 94-100.

91. Иванова Н.С. Эмпирическая модель расчета ультрафиолетового индекса. *Труды Гидрометцентра России*. 2017. Вып. 365. С. 118-127.

92. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Лезина Е.А., Лапченко В.А., Никифорова М.П., Демин В.И. Актуальность наблюдений и прогноза приземного озона в России. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2018 г. Том XXIX № 1 с.89-106

93. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Лезина Е.А., Лапченко В.А., Никифорова М.П., Демин В.И. Исследования и мониторинг приземного озона в России. *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*. 2017. № 365. С. 56-70.

94. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Звягинцев А.М., Лапченко В.А. Приземный озон на побережьях балканского полуострова и Крыма. *Оптика атмосферы и океана*. 2017. Т. 30. № 6. С. 515-523.

95. Шалыгина И.Ю., И.Н. Кузнецова, В.А. Лапченко. Режим приземного озона на станции Карадаг в Крыму по наблюдениям в 2009–2018 гг. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2019. № 2, С. 6-17.

96. Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Ткачева Ю.В., Ривин Г.С., Кирсанов А.А., Борисов Д.В., Лезина Е.А. Система прогнозирования качества воздуха на основе химических транспортных моделей. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2019, No 4, p. 203-218.

97. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Коновалов И.Б., Захарова П.В. Прогнозирование метеорологических условий и загрязнения воздуха с применением данных численной модели атмосферы и химической транспортной модели. *Труды Гидрометцентра России*. 2017. Вып. 365 с.81-93.

98. Шаламянский А.М., Ромашкина К.И., Соломатникова А.А., Павлова К.Г. Талаш С.С. Состояние защитного озонового слоя атмосферы над территорией Российской Федерации (более 40 лет регулярных наблюдений). *Труды ГГО*, # 590, с. 144-159, 2018.

99. Шаламянский А.М., Ромашкина К.И., Соломатникова А.А., Павлова К.Г. Особенности состояния озонового слоя над регионами РФ. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 г., Росгидромет 2019, с. 42-44.

100. Petkov B., Vitalea V., Svendby T., Hansen G., Sobolewski P., Láska K., Elstere J., Pavlova K., Viola A., Mazzola M., Lupia A., Solomatnikova A. Altitude-temporal behaviour of atmospheric ozone, temperature and wind velocity observed at Svalbard. *Atmospheric Research*, V. 207, 2018, p. 100-110.

101. Шаламянский А.М., Ромашкина К.И., Соломатникова А.А., Павлова К.Г. Особенности состояния озонового слоя над регионами РФ. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2017 г., Росгидромет 2018, с. 38-40.

102. Киселев А.А., Кароль И.Л. Как поживаешь, антарктическая озоновая дыра? *Природа*, №10, 2016, с.4-8.

103. Ларин И.К. О нерешенных проблемах химии средней атмосферы. *Химическая Физика*, 2018, т. 37, № 8, с. 79-84.
104. Ларин И.К. О теории цепных процессов озоносферы. *Химическая Физика*, 2019, т. 38, № 5, с. 81-87
105. Ларин И.К. Химическая физика озонового слоя. Изд.-во: Российская академия наук, Москва, монография, 2018, с.212
106. Ларин И.К. Химический состав средней атмосферы и его изменение в XXI веке. *Химическая Физика*, 2018 том: 37
107. Ларин И.К. О вкладе O_x , HO_x , NO_x , ClO_x и BrO_x - циклов в разрушение стратосферного озона в XXI веке. *Химическая Физика* 2017, т. 37, № 1, с. 90-96.
108. Ларин И.К. Нечетный кислород и его атмосферное время жизни. *Химическая Физика* 2017, т. 36, № 3, с. 87-91.
109. Nevzorov A.A., Dolgii S.I., Nevzorov A.V., Makeev A.P., Bazhenov O.E. Gridnev Yu.V., Romanovskii O.A. Lidar monitoring of stratospheric aerosol and ozone at the Siberian lidar station. Proceedings of SPIE. 2017. V.10466. P.10466 3Z.
110. Matvienko G.G, Balin Yu.S., Bobrovnikov S.M., Romanovskii O.A., Kokhanenko G.P., Samoilova S.V., Penner I.E., Gorlov E.V., Zharkov V.I., Sadovnikov S.A, Yakovlev S.V, Bazhenov O.E., Dolgii S.I., Makeev A.P., Nevzorov A.A., Nevzorov A.V., Kharchenko O.V. Siberian Lidar Station: Instruments and results. EPJ Web of Conferences 176, 08020. 2018. *ILRC* 28.
111. Makeev A.P., Bajenov O.E., Burлаков В.Д., Гришаев М.В., Гріднев Ю.В., Долгий С.И., Невзоров А.В. Сравнение результатов дистанционных спектрофотометрических измерений O_3 , NO_2 и аэрозольной оптической толщи с данными спутниковых и радиозондовых измерений // XV конференция молодых ученых: Труды конференции. Взаимодействие полей и излучения с веществом. Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН. 2017. С. 276-278. <http://bsfp.iszf.irk.ru/programma-2017>.
112. Nevzorov A.V., Bazhenov O.E., Dolgii S.I., Elnikov A.V., Sysoev S.M. Analysis of annual variations in total ozone content and integrated aerosol backscattering coefficient in the stratosphere over Tomsk. Proc. SPIE. 2019. Tracking No. AOO19-AOO201-37.
113. Bajenov O.E., Elnikov A.V., Sysoev S.M. Общее содержание озона над Томском в период 1994-2017 гг.: Результаты статистического анализа. Труды XXV Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Секция С. ИОА СО РАН. 2019.
114. Bazhenov O.E., Elnikov A.V., Sysoev S.M. Total ozone content over Tomsk in period of 1994–2017: Results of statistical analysis. *Atmos. Ocean Opt.* V. 32. N. 7. P. 556-561, 2019.
115. Bazhenov O.E. Role of stratospheric temperature and humidity in occurrence of 2011 spring ozone anomaly in the Arctic and on the northern territory of Russia using Aura OMI/MLS observations. *World J. Agri. & Soil Sci.* V. 1. N 4. 2019. WJASS.MS.ID.000517.
116. Bazhenov O.E. Elevated humidity in the stratosphere as a gain factor of ozone depletion in the Arctic according to Aura MLS observations. *Atmos. Ocean Opt.* V. 31. p. 311-316. 2018.
117. Bazhenov O.E. Increased humidity in the stratosphere as a possible factor of ozone destruction in the Arctic during the spring 2011 using Aura MLS observations. *Inter. J. of Remote Sensing.* V. 40. 3448-3460. 2019.
118. Bazhenov O.E. Decreased ozone content over Western Siberia and Tomsk in winter 2017-2018 according to lidar measurements and Aura OMI/MLS data. Proc. SPIE. 2018. V. 10833. P. [A200-170] 10833-177.
119. Belikov Yu.E., Nikolaishvili S.Sh. Ozone holes as a result of ozone destruction on charged particles. *Geliogeofisicheskiye issledovaniya*, 2017, V. 16, p.20—30. (in Russian)
120. Belikov Yu.E., S. Sh. Nikolaishvili, A. Yu Repin. Specific aspects of the ozone destruction on charged particles in the polar atmosphere *Geliogeofisicheskiye issledovaniya*, 2018, 18, 1—8 (in Russian). <http://vestnik.geospace.ru/php/download.php?id=UPLF6fb7dfc53bde43b372379d7bd5b9dfba.pdf>

5. PROJECTS, COLLABORATION, TWINNING AND CAPACITY BUILDING

(e.g., national projects, international projects, other collaboration (nationally, internationally))

В 2017 г. сотрудники ГГО начали взаимодействие с коллективом, развивающим Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System по измерениям ОСО и УФ-радиации [Petkov et al., 2018].

6. IMPLEMENTATION OF THE RECOMMENDATIONS OF THE 10th OZONE RESEARCH MANAGERS MEETING (e.g., specifics on progress towards such implementation, difficulties encountered, near-term plans, etc.)

Продолжается обработка и анализ данных измерений пространственно-временных вариаций ОСО, полученных с помощью Фурье-спектрометра ИКФС-2, размещенного на запущенном в 2014 г. спутнике Метеор-М N2.

Проведена интеркалибровка спектрофотометра Добсон #108 (ГГО) в Региональном европейском центре по калибровке в Германии (Хоэнпайсенберг) в июле 2019 г. Проведена интеркалибровка спектрофотометра Брюера МКII #044 (НПО «Тайфун») в Климатической Обсерватории г. Ароса (Швейцария) летом 2018 г.

7. Планы на будущее (FUTURE PLANS)

НПО «Тайфун» предполагает продолжение наблюдений ОСО, другими малыми газовыми составляющими, приземной УФ-облученности и концентрации приземного озона. В настоящее время лидары АК-3 установлены на 7 станциях лидарного зондирования Росгидромета, расположенных на территории Российской Федерации. Планируется их эксплуатация и выполнение регулярных измерений.

8. NEEDS AND RECOMMENDATIONS

В связи с имеющимися финансовыми ограничениями научных организаций России желательна финансовая помощь ВМО для калибровки трех спектрофотометров Брюера: МКIII # 222 (ЦАО, г.Долгопрудный), МКII #043 (ИФА РАН, Кисловодск), МКII #049 (ИОА РАН, г. Томск) в 2020 г. с привлечением зарубежных специалистов. Для проведения калибровки указанные выше спектрофотометры будут свезены в одно место в ЦАО г. Долгопрудный.