ИЗВЕСТИЯ РАН. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА, 2022, том 58, № 5, с. 576–582

УДК 551.510

# СРАВНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА ВБЛИЗИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

© 2022 г. Г. М. Неробелов[a, b, c, *], О. Х. Аль-Субари[a], Ю. М. Тимофеев[a], Я. А. Виролайнен[a], А. В. Поберовский[a], А. А. Соломатникова[d]

[a]Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. 7/9, Санкт-Петербург, 199034 Россия

[b]СПб ФИЦ РАН – Научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, ул. Корпусная 18, Санкт-Петербург, 187110 Россия

[c]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский проспект 98, Санкт-Петербург, 195196 Россия

[d]Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, Санкт-Петербург,194021 Россия

*e-mail: akulishe95@mail.ru

Поступила в редакцию 05.03.2022 г.
После доработки 12.05.2022 г.
Принята к публикации 09.06.2022 г.

В работе сопоставлены результаты наземных измерений общего содержания озона (ОСО) вблизи Санкт-Петербурга за период 2009–2020 гг. Спектрофотометр Dobson и фильтровый озонометр М-124 расположены в пос. Воейково, Фурье-спектрометр Bruker 125HR – в Петергофе, на расстоянии около 50 км от пос. Воейково. Сопоставление результатов среднедневных измерений ОСО различными приборами за почти 300 дней наблюдений показало, что средняя разность и стандартное отклонение разностей между измерениями Dobson и Bruker составляют –12.9 ± 9.3 е.Д. (–3.7 ± 2.7%), между Dobson и М-124 – 0.1 ± 7.7 е.Д. (0.0 ± 2.2%), между М-124 и Bruker – 12.9 ± 10.6 е.Д. (–3.7 ± 3.0%). Систематическое завышение данных Bruker по сравнению с данными Dobson и М-124 может быть вызвано как пространственно-временным рассогласованием измерений (пос. Воейково чаще подвержен антропогенному загрязнению, в то время как в Петергофе, в основном, наблюдаются фоновые воздушные массы), так и различием в спектроскопических параметрах в ИК и УФ-областях спектра. Разброс данных между разными ансамблями измерений ОСО не превышает измерительных погрешностей методов. Временное изменение среднемесячных ОСО по данным трех наборов наземных измерений в районе Санкт-Петербурга не показало явного постепенного межгодового увеличения или уменьшения содержания газа за период 2009–2020 гг.

**Ключевые слова:** атмосферный озон, общее содержание, дистанционное зондирование, наземные измерения, многолетнее изменение, Санкт-Петербург

**DOI:** 10.31857/S0002351522050078

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Озон является одной из важнейших малых газовых составляющих атмосферы Земли, влияющей на температурный режим стратосферы, ультрафиолетовую (УФ) освещенность земной поверхности, загрязнение тропосферы и парниковый эффект на нашей планете. Именно поэтому в настоящее время его содержание регулярно определяется с помощью различных локальных и дистанционных измерений в наземных, самолетных, аэростатных и спутниковых системах контроля за озоном [1]. Особое внимание уделяется мониторингу общего содержания озона (ОСО) в связи с выявленным в 70-х годах прошлого века уменьшением его содержания из-за антропогенного влияния, обусловленного ростом эмиссий хлор-фтор-углеродов в атмосферу [2, 3]. Измерения ОСО различными методами и приборами делают актуальным их сравнение, валидацию, а также создание совместных баз данных для совершенствования численных моделей озоносферы и качественных прогнозов ее изменений.

В России Главная Геофизическая Обсерватория (ГГО) является центром Всемирной метеорологической организации (ВМО) по калибровке и контролю качества измерений ОСО. Единая шкала измерений на сети Росгидромета поддерживается регулярной поверкой всех озонометров по

эталону – спектрофотометру Dobson № 108, который, в свою очередь, каждые 5 лет участвует в сравнениях с региональным эталоном ВМО. Результаты сравнений показали, что за последние 30 лет расхождения между эталоном сети Росгидромета и эталоном ВМО не превышали 0.5%.

Сравнение и валидацию различных методов измерений ОСО необходимо проводить на регулярной основе в связи с возможными изменениями характеристик аппаратуры (см., например, [4–6]). Сопоставления данных наземных измерений ОСО спектрофотометром Dobson, Фурье-спектрометром Bruker 125HR, фильтровым озонометром М-124 и спутниковыми приборами в окрестностях Санкт-Петербурга проводились, например, в работах [4, 5]. В текущей работе приведены результаты анализа сопоставления измерений ОСО тремя наземными приборами (Bruker 125HR, Dobson, М-124) в районе Санкт-Петербурга за период 2009–2020 гг.

## 2. НАЗЕМНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОСО

### *2.1 Измерения Фурье-спектрометра Bruker 125HR*

Наземный спектроскопический ИК метод измерений ОСО используется уже длительное время на станциях международной сети NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change, https://www.ndsc.ncep.noaa.gov/). В Петергофе (станция St. Petersburg, 59.88° с.ш., 29.82° в.д.) эти измерения были начаты в 2009 году [6]. Спектры солнечного ИК-излучения Фурье-спектрометром Bruker 125HR измеряются в условиях безоблачного неба либо в достаточно больших разрывах облаков. Таких дней в среднем насчитывается около 70 в году. Интерпретация измеренных спектров проводится с помощью специализированного программного обеспечения PROFFIT [7]. При этом используются спектральные окна, расположенные в интервале 991–1014 см$^{-1}$ полосы поглощения озона 9.6 мкм [8].

В настоящей работе использовалась версия V.7 данных измерений ОСО на станции St. Petersburg (https://www-air.larc.nasa.gov/missions/ndacc/data.html?station=st.petersburg/hdf/ftir/). Средняя систематическая погрешность определения ОСО составляет ~3%, средняя случайная погрешность измерений ОСО составляет ~2%.

### *2.2 Измерения спектрофотометра Dobson и озонометра М-124*

Наземные измерения ОСО проводились на полевой экспериментальной базе ГГО (пос. Воейково), расположенной на расстоянии около 50 км от Петергофа, с помощью спектрофотометра Dobson №108 и рабочего фильтрового озонометра М-124. Для измерений ОСО на этих приборах используется дифференциальный метод, заключающийся в регистрации УФ-излучения в диапазоне длин волн 290–350 нм в двух или более спектральных интервалах с дальнейшим определением содержания озона по логарифму отношения измеренных потоков. Спектрофотометр Dobson представляет собой двойной кварцевый монохроматор, который из спектра приходящего излучения выделяет попарно следующие участки спектра: пары 305.5/325.4 нм, 311.45/332.4 нм и 317.6/339.8 нм [9]. Спектрофотометр Dobson 108 является эталонным прибором в России, поэтому наблюдения по нему в Воейково выполняются, в основном, по прямому солнечному излучению, а также по излучению, приходящему от зенита безоблачного неба, погрешность единичного измерения ОСО при этом не превышает 2%.

Фильтровые озонометры М-124 являются основным рабочим средством измерений ОСО на сети Росгидромета. Основные достоинства озонометра М-124 – простота конструкции и эксплуатации. Измерения данным прибором в Воейково [10] проводятся уже более 40 лет как по прямому солнечному излучению, так и по рассеянному из зенита. Суммарные погрешности определения ОСО озонометром М-124 составляют 2–5% в зависимости от вида регистрируемого излучения, а также состояния атмосферы и облачности.

## 3. СРАВНЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОСО

### *3.1 Анализ среднесуточных значений*

В табл. 1 приведены результаты сравнений измерений ОСО приборами Dobson и Bruker 125HR по годам в течение периода 2009–2019 гг. (средние разности – СР и стандартные отклонения разностей – СОР, характеризующие систематические и случайные отличия, соответственно, а также коэффициент корреляции). Отметим, что данные доступны и за 2020 г., но их существенно меньше (всего 6 дней), поэтому они не приводятся в таблице. Как следует из таблицы, число сопоставлений за каждый год невелико – от 13 до 38. Таким образом, результаты приведенных оценок для каждого отдельного года не обладают высокой достоверностью. В частности, приведенные данные демонстрируют существенные вариации СР и СОР – в диапазонах 9.9–16.4 е.Д. (2.7–4.3%) и 4.8–13.8 е.Д. (1.4–3.8%), соответственно. Коэффициенты корреляции двух типов измерений высоки во все годы и меняются в диапазоне 0.91–

**Таблица 1.** Сравнения измерений ОСО приборами Bruker 125HR и Dobson в районе Санкт-Петербурга за 2009–2019 гг.; значения в процентах даны относительно общего среднего ОСО по данным Dobson

| Год | Число сопоставлений | Средняя разность, е.Д. (%) | Стандартное отклонение разностей, е.Д. (%) | Среднее ОСО, е.Д. (Bruker/Dobson) | Коэффициент корреляции |
|---|---|---|---|---|---|
| 2009 | 13 | 14.2 (3.9) | 13.8 (3.8) | 363.5/349.3 | 0.91 |
| 2010 | 22 | 16.4 (4.3) | 6.6 (1.7) | 380.3/363.9 | 0.99 |
| 2011 | 34 | 11.1 (3.3) | 8.3 (2.4) | 340.1/329.0 | 0.97 |
| 2012 | 34 | 9.9 (2.7) | 8.0 (2.2) | 359.7/349.9 | 0.99 |
| 2013 | 34 | 11.6 (3.1) | 7.8 (2.1) | 373.8/362.2 | 0.99 |
| 2014 | 14 | 13.0 (3.4) | 6.2 (1.6) | 384.6/371.6 | 0.99 |
| 2015 | 25 | 13.6 (3.9) | 4.8 (1.4) | 350.6/336.9 | 0.99 |
| 2016 | 26 | 13.9 (3.9) | 6.8 (1.9) | 358.6/344.8 | 0.99 |
| 2017 | 20 | 13.2 (3.8) | 7.6 (2.2) | 347.1/334.0 | 0.98 |
| 2018 | 37 | 11.8 (3.3) | 6.8 (1.9) | 354.1/342.3 | 0.99 |
| 2019 | 22 | 12.8 (3.5) | 7.1 (2.0) | 362.2/349.4 | 0.98 |
| 2009–2019 | 281 | 12.5 (3.5) | 7.7 (2.1) | 359.7/347.2 | 0.99 |

**Таблица 2.** Характеристики расхождений измерений ОСО в районе Санкт-Петербурга по данным приборов Bruker 125HR, М-124 и Dobson за 2009–2020 гг.; значения в % даны относительно среднего ОСО по данным Dobson; СО – стандартное отклонение; СОР – стандартное отклонение разности, СР – средняя разность, КК – коэффициент корреляции.

| Параметры | Приборы | | |
|---|---|---|---|
| | Dobson – Bruker 125HR | Dobson – М-124 | Bruker 125HR – М-124 |
| Среднее ± СО, е.Д. | 347.2 ± 45.5/360.1 ± 48.1 | 347.2 ± 45.5/347.2 ± 44.6 | 360.1 ± 48.1/347.2 ± 44.6 |
| СР ± СОР, е.Д. (%) | –12.9 ± 9.3 (–3.7 ± 2.7) | 0.2 ± 7.7 (0.0 ± 2.2) | 12.9 ± 10.6 (3.7 ± 3.0) |
| КК | 0.98 | 0.98 | 0.98 |

0.99. Высокие значения коэффициентов корреляции между измерениями ОСО в Петергофе и Воейково обусловлены сильной изменчивостью ОСО в районе Санкт-Петербурга, в том числе, и сезонным ходом, который практически одинаков в обоих пунктах. Для рассматриваемой выборки пар данных ОСО за весь период 2009–2019 гг. СР между данными измерений ОСО Bruker и Dobson составила 12.5 е.Д. (3.5%), СОР – 7.7 е.Д. (2.1%).

На следующем этапе исследований мы отобрали ансамбль одновременных измерений всеми тремя приборами: Dobson, М-124 и Bruker (за 271 день наблюдений в 2009–2020 гг.). График среднесуточных измерений ОСО наземными приборами Bruker и Dobson в районе Санкт-Петербурга для всего периода 2009–2020 гг. (рис. 1) показал хорошее соответствие наблюдаемых величин изменчивости ОСО (корреляция около 0.98) – значения естественной вариации для обоих наборов данных составляет 48.1 и 45.5. е.Д., соответственно.

При этом наблюдается относительно большая величина СР между измерениями за весь период – около 12.9 е.Д. (3.7% относительно измерений прибором Dobson) (табл. 2). СОР составило 9.3 е.Д. (2.7%). СР и СОР между данными озонометра М-124 и Dobson за этот же период составили 0.1 е.Д. и 7.7 е.Д. (0.0% и 2.2%), соответственно. Отсутствие систематики между данными двух приборов обусловлено тем, что прибор М-124 калибруется на основе измерений прибором Dobson. Однако, СОР между данными Dobson и М-124 и Dobson и Bruker имеют более близкие значения – около 2.2–2.7%, соответственно. Относительно большая величина СОР соответствует оценкам случайных погрешностей озонометра М-124 [10]. СР и СОР между данными Bruker и М-124 составили 12.9 и 10.6 е.Д. (3.7 и 3.0%), соответственно.

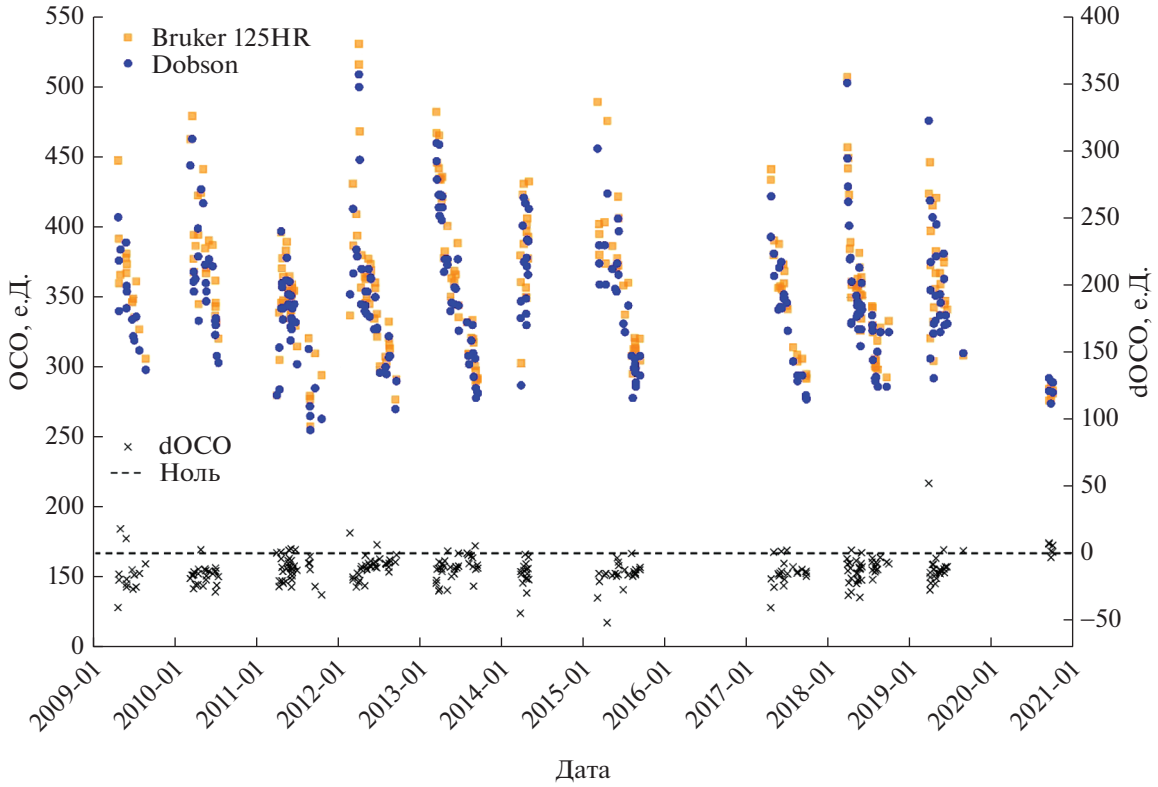


**Рис. 1.** Временное распределение среднесуточных ОСО в районе Санкт-Петербурга по данным наземных измерений приборами Dobson и Bruker 125HR в период 2009–2020 гг. и их разность (шкала справа).

Первые предварительные оценки результатов измерений ОСО, полученные с помощью Фурье-спектрометра Bruker 125HR, а также сопоставления с данными других приборов были выполнены в работе [11], где были проанализированы результаты измерений первых 269 спектров ИК-излучения, полученных в течение 52 дней в период с марта по ноябрь 2009 г. За 17 дней сопоставлений с данными Dobson величина СР составила 0.3%, СОР – 3.2%, КК – 0.90. За 51 день сопоставлений с данными М-124 СР составила 0.4%, СОР – 3.4%, КК – 0.95. Следующее сопоставление было выполнено для периода 2009–2012 гг. [5, 12]. Всего было получено 1190 спектров за 189 дней в период с апреля 2009 по март 2012 г. включительно. Сопоставления с Dobson имелись для 74 дней наблюдений (использовались среднедневные измерения), СР составила 1.4%, СОР – 3.4%, КК – 0.95. Аналогично для сопоставлений с М-124 имелись 78 дней, СР составила 2.8%, СОР – 3.9%, КК – 0.96. В дальнейшем сопоставления проводились в рамках получения эмпирических оценок точностей различных наземных и спутниковых методов измерения ОСО за период с 2009 по 2015 гг. [4]. Сопоставлялись 3 ансамбля измерений: 1 – 125 дней, когда имелись одновременные измерения всеми приборами, включая Dobson; 2 – 278 дней измерений (без одновременных измерений с Dobson); 3 – 125 дней измерений (без Dobson), в которые по данным Bruker изменчивость ОСО не превышала 1% за время осреднения – так называемые “стабильные” дни. Были получены следующие оценки для ансамбля 1: СР пар Bruker-Dobson составила 2.1%, СОР – 2.3%, Bruker-М-124 – 1.6 и 2.4%, соответственно. Сопоставления Bruker-М-124 для ансамбля 2 дали оценки: 2.4 и 3.6%, для 3 ансамбля – 2.2 и 2.9% для СР и СОР, соответственно. Таким образом, в зависимости от сопоставляемых дней наблюдений временная и пространственная изменчивость полей ОСО могут значительно влиять на результаты сопоставлений в двух наземных пунктах на расстоянии около 50 км, но расположенных с разных сторон от Санкт-Петербурга.

Кроме динамической изменчивости воздушных масс в весенний период (см., например, [13]), когда в течение дня ОСО даже в одной локации может меняться на 20–30%, на различия в величинах ОСО в Воейково и Петергофе может влиять различие в тропосферном содержании озона, составляющем около 10% от величины ОСО. Анализ полей ветра в дни измерений показал, что

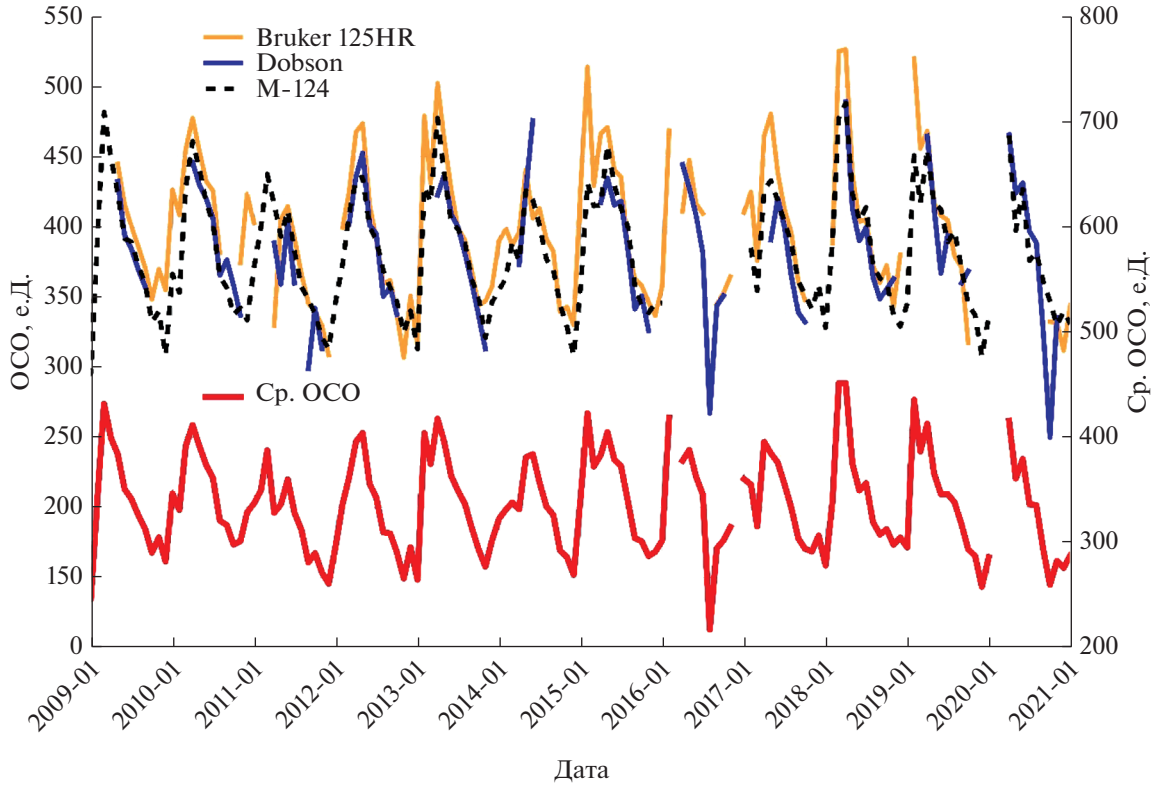


**Рис. 2.** Временное распределение среднемесячных ОСО в районе Санкт-Петербурга по данным наземных измерений (Dobson, Bruker 125HR, M-124; левая шкала) и их общее среднее (красная кривая; правая шкала) в период 2009–2020 гг.

станция Воейково, расположенная к западу от Санкт-Петербурга, часто находится в зоне влияния антропогенных эмиссий от города, в то время как в Петергофе, находящимся к юго-западу от центра города, преобладают фоновые воздушные массы с более высоким содержанием тропосферного озона. Санкт-Петербург — крупный антропогенный источник газов и аэрозолей – при разных направлениях ветра может вносить заметно различающийся вклад в содержание тропосферного озона в двух пунктах в зависимости от метеорологической ситуации. Поэтому данный фактор может быть дополнительной причиной наблюдающихся различий в ОСО между данными Bruker и Dobson и M-124. Систематическое завышение данных измерений ОСО прибором Bruker по сравнению с данными Dobson и M-124 может быть также обусловлено различиями в спектроскопических данных в ИК и УФ-областях спектра, используемых для анализа измеряемых спектров солнечного излучения. Так, в работе [14], где анализировались данные измерений ОСО приборами Bruker и Brewer (также использующем измерения солнечного излучения в УФ-области спектра), были получены величины СР около 4.5%.

### *3.2 Анализ среднемесячных значений*

Анализ среднемесячных ОСО по данным Bruker, Dobson и M-124, а также среднего по трем наборам данных (рис. 2) показал, что в целом постепенный рост или уменьшение ОСО в районе Санкт-Петербурга за период с 2009 по 2020 гг. не наблюдается. Временные изменения по всем трем наборам данных схожи. Прослеживается сезонный ход ОСО – рост весной до 390–450 е.Д. и уменьшение к осени-зиме до 290–200 е.Д. Также видно, что по данным Bruker ОСО в среднем больше, чем по данным Dobson и M-124, что было отмечено ранее. Несмотря на отсутствие выраженной тенденции к росту или уменьшению ОСО, данные внутри каждого года заметно отличаются. Это отчасти могло быть вызвано разным объемом анализируемых данных для каждого года.

## 4. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Сравнения измерений ОСО в районе Санкт-Петербурга за период 2009–2020 г. двумя методами и приборами (Dobson и Bruker 125HR) показали, что величины естественных вариаций двух ан-

самблей измерений ОСО очень близки – 45.5 и 48.1 е.Д., но среднее рассогласование и стандартное отклонение составляют 12.9 е.Д. (3.7%) и 9.3 е.Д. (2.7%), соответственно.

Средние разности между данными озонометра М-124 и Dobson отсутствуют вследствие калибровки озонометра при помощи измерений Dobson. Стандартное отклонение разностей между этими приборами немного меньше, чем между Dobson и Bruker – 2.2% против 2.7%. Измерения ОСО прибором Bruker, как правило, превышают измерения спектрофотометра Dobson и озонометра М-124, что может быть вызвано как различием в коэффициентах поглощения озона в ИК и УФ-областях спектра, так и наличием или отсутствием антропогенного влияния на станции в Воейково и в Петергофе. При этом, коэффициенты корреляции между тремя наборами данных высоки и достигают 0.98.

Среднемесячные ОСО по данным трех наборов наземных измерений в районе Санкт-Петербурга не показали явной тенденции к увеличению или уменьшению содержания газа за период 2009–2020 гг. Среднемесячные значения ОСО по данным Фурье-спектрометра Bruker 125HR превышают данные измерений прибора Dobson и М-124.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в лаборатории “Исследование Озонного слоя и верхней атмосферы” Санкт-Петербургского государственного университета и было финансово поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению 075-15-2021-583.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еланский Н.Ф.* Российские исследования атмосферного озона и его предшественников в 2015–2018 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 2. С. 170–185.
2. WMO (World Meteorological Organization), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 58, 2018. P. 588.
3. *Seinfeld, John H., and Spyros N. Pandis.* Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. 2d edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. Inc, 2006. P. 1120.
4. *Виролайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В., Поляков А.В., Шаламянский А.М.*. Эмпирические оценки погрешностей измерений общего содержания озона различными методами и приборами // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30. № 2. С. 170–176.
5. *Virolainen Y.A., Timofeyev Y.M. & Poberovsky A.V.* Intercomparison of satellite and ground-based ozone total column measurements // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2013. V. 49. P. 993–1001.
6. *Timofeyev Yu., Virolainen Ya., Makarova M., Poberovsky A., Polyakov A., Ionov D., Osipov S., Imhasin H.* Ground-based spectroscopic measurements of atmospheric gas composition near Saint Petersburg (Russia) // J. Mol. Spectr. 2016. V. 323. P. 2–14.
7. *Hase F., Hannigan J.W., Coffey M.T., Goldman A., Höpfner M., Jones N.B., Rinsland C.P., Woo S.W.* Intercomparison of retrieval codes used for the analysis of high-resolution, ground-based FTIR measurements // J.Quant. Spectr. Rad. Transfer. 2004. V. 87. № 1. P. 25–52.
8. *Виролайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В., Ионов Д.В., Кирнер О., Поберовский А.В., Имхасин Х.* Сопоставление наземных измерений общего содержания $O_3$, $HNO_3$, HCl и $NO_2$ с данными численного моделирования // Изв. РАН. ФАО. 2015. Т. 51. № 6. С. 1–10.
9. *Dobson G.M.B.* Observers’ handbook for the ozone spectrophotometer. Pt. 1.: Ann. IGY, 957. P. 46–89.
10. *Шаламянский А.М., Ромашкина К.И., Привалов В.И.* Сравнительный анализ методов и приборов для наземных измерений общего содержания озона // Прикладная метеорология. Труды НИЦ ДЗА (филиала ГГО), вып. 5 (553), 2004. С. 187–206.
11. *Виролайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Ионов Д.В., Поберовский А.В., Шаламянский А.М.* Наземные измерения общего содержания озона ИК методом // Изв. РАН. ФАО. 2011. Т. 47. № 4. С. 521–532.
12. *Virolainen Y., Timofeyev Y., Polyakov A., Ionov D., and Poberovsky A.* Intercomparison of satellite and ground-based measurements of ozone, $NO_2$, HF, and HCl near Saint Petersburg, Russia // Int. Journ. Rem. Sensing. 2014. V. 35. № 15. P. 5677–5697.
13. *Виролайнен Я.А., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.* Анализ изменчивости стратосферных газов по данным наземных спектроскопических наблюдений в районе Санкт-Петербурга // Изв. РАН. ФАО. 2021. Т. 57. № 2. С. 163–174.
14. *Schneider M., Redondas A., Hase F., Guirado C., Blumenstock T., and Cuevas E.* Comparison of ground-based Brewer and FTIR total column $O_3$ monitoring techniques // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8. P. 5535–5550.
15. *Viatte C., Schneider M., Redondas A., Hase F., Eremenko M., Chelin P., Flaud J.-M., Blumenstock T., and Orphal J.* Comparison of ground-based FTIR and Brewer $O_3$ total column with data from two different IASI algorithms and from OMI and GOME-2 satellite instruments // Atmos. Meas. Tech. 2011. V. 4. P. 535–546.

# Comparison of Ground-Based Measurements of Total Ozone Content Near Saint-Petersburg

**G. M. Nerobelov[1, 2, 3, *], O. Al-Subari[1], Yu. M. Timofeyev[1], Ya. A. Virolainen[1], A. V. Poberovskii[1], and A. A. Solomatnikova[4]**

[1]*Saint-Petersburg State University, University Embankment, 7/9, Saint-Petersburg, 199034 Russia*
[2]*SPC RAS – Scientific Research Centre for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, Korpusnaya st., 18, Saint-Petersburg, 187110 Russia*
[3]*Russian State Hydrometeorological University, Malookhtinskiy Prospekt, 98, Saint-Petersburg, 195196 Russia*
[4]*The Voeikov Main Geophysical Observatory, Karbysheva st. 7, Saint-Petersburg, 194021 Russia*
**e-mail: akulishe95@mail.ru*

In current research ground-based observations of total ozone column (TOC) near Saint-Petersburg (Russia) in 2009–2020 were compared. Spectrophotometer Dobson and filter ozonometer M-124 are located in Voeikovo, Fourier-spectrometer Bruker 125HR – in Peterhof, 50 km from Voeikovo. The comparison of daily averaged TOC observations by different instruments for approximately 300 days has demonstrated that average difference and its standard deviation between Dobson and Bruker data constitute –12.9 ± 9.3 DU (–3.7 ± 2.7%), Dobson and M-124 – 0.1 ± 7.7 DU (0.0 ± 2.2%), M-124 and Bruker – 12.9 ± 10.6 DU (3.7 ± 3.0%). Systematic overestimation of Bruker data in comparison to Dobson and M-124 could be caused by spatio-temporal differences in measurements (Voeikovo is often under of anthropogenic pollution, when unpolluted background air masses are observed in Peterhof more frequent) as well as by differences in spectroscopic parameters of IR and UV spectra ranges. Deviation of the data in different assembles of TOC observations does not exceed observational errors of the methods. Temporal variation of monthly averaged TOC measured by all three ground-based instruments near Saint-Petersburg in 2009–2020 did not demonstrate explicit gradual increase or decrease in the gas content.

**Keywords:** atmospheric ozone, total content, remote sensing, ground-based measurements, multi-year variation, Saint-Petersburg