

УДК 551.510

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В ВЕРХНЕЙ СТРАТОСФЕРЕ НАД МОСКВОЙ В ХОЛОДНЫЕ ПОЛУГОДИЯ 2014–2015 И 2015–2016 гг.

© 2019 г. Е. П. Кропоткина¹, С. Б. Розанов^{1,2,*}, А. Н. Лукин¹,
А. Н. Игнатьев^{3,***}, С. В. Соломонов^{1,**}

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), г. Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), г. п. Менделеево (Московская обл.), Россия

³Научно-исследовательский институт “Квант” (НИИ “Квант”), г. Москва, Россия

*e-mail: sergroz_fian@mail.ru

**e-mail: s.v.solomonov@mail.ru

***e-mail: ignatyev_alex@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2018 г.

После доработки 28.05.2018 г.

Принята к публикации 27.09.2018 г.

Представлены результаты наземных микроволновых измерений профилей стратосферного озона над Москвой в холодные полугодия 2014–2015 и 2015–2016 гг., рассмотрены причины наблюдавшихся изменений озона в верхней стратосфере. Зимой 2014–2015 гг. отмечались повышенная активность планетарных волн, большие перепады температуры в начале зимы и пониженные температуры с января по март. Полярный вихрь был неглубоким и долгоживущим, в феврале–марте холодный воздух вихря находился над Москвой. Это привело к сильной отрицательной корреляции измеренного содержания озона с температурой. Наибольшее содержание озона на уровне 2 мбар наблюдалось в середине марта. Напротив, в ноябре–декабре 2015 г. при меньшей активности планетарных волн возник интенсивный полярный вихрь, который был полностью разрушен мажорным финальным потеплением в начале марта 2016 г. Вариации озона в верхней стратосфере над Москвой в декабре 2015 г. и январе 2016 г. были связаны с чередованием воздушных масс вихря и областей вне вихря. В начале 2016 г. более высокие температуры (по сравнению с началом 2015 г.) привели к пониженному содержанию озона. Межгодовое различие содержания озона в первой половине марта превысило 40% от среднемесячного.

DOI: 10.1134/S0016794019010097

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы продолжает возрастать интерес к вариациям озона O_3 в верхней стратосфере в условиях изменений температурного режима стратосферы, увеличения содержания в ней закиси азота N_2O и влияния на озон озоноразрушающих веществ (ОРВ), в том числе хлорфторуглеродов и др. [Scientific ..., 2014; Vandoro et al., 2018; Brasseur and Solomon, 2005]. Продолжающийся рост концентрации парниковых газов и N_2O вызывает изменения в тепловой, динамической и химической структуре стратосферы.

Расчеты [Scientific ..., 2014; Vandoro et al., 2018; Brasseur and Solomon, 2005] показали, что комбинарованный эффект влияния на озон всех упомянутых выше факторов (ОРВ, азотных окислов и парниковых газов) наиболее выражен в верхней стратосфере на уровне давления ~ 2 мбар (высота

~ 40 км) на средних широтах северного полушария. Известно [Brasseur and Solomon, 2005], что этот слой верхней стратосферы для озона является переходной областью от более низких слоев, где его содержание управляется динамическими процессами, к более высоким слоям, где содержание озона контролируется фотохимическими реакциями, скорость которых зависит от температуры. В этом переходном слое на озон могут влиять в той или иной мере и динамика, и фотохимия стратосферы [Brasseur and Solomon, 2005].

Выполняемый в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) мониторинг атмосферного озона на миллиметровых волнах (микроволнах) [Соломонов и др., 2017], в отличие от других методов, позволяет получать надежные данные о вертикальном распределении этой важ-

ной газовой составляющей в широком диапазоне высот, включая верхнюю стратосферу.

Результаты наблюдений озона над Москвой показали большую изменчивость концентрации озона в стратосфере в течение ряда зим [Соломонов и др., 2017]. Важной задачей является выяснение причин этой изменчивости, установление возможных связей вариаций озона в стратосфере, включая ее верхние слои, с крупномасштабными атмосферными процессами.

Целью данной работы являлся анализ особенностей изменений озона в верхней стратосфере над Москвой в холодные полугодия 2014–2015 и 2015–2016 гг., которые значительно различались характером атмосферных процессов.

2. МЕТОД НАБЛЮДЕНИЙ

Наблюдения атмосферного озона проводились с помощью высокочувствительного микроволнового спектрометра, размещенного в ФИАН в Москве [Соломонов и др., 2017]. Регистрировалась вращательная спектральная линия теплового излучения озона с центральной частотой 142.175 ГГц (длина волны 2.1 мм). Контур этой линии, уширенной из-за столкновений молекул и эффекта Доплера, содержит информацию о вертикальном распределении озона (ВРО) в стратосфере и мезосфере.

Для восстановления ВРО по форме измеренной спектральной линии использовался предложенный К.П. Гайковичем алгоритм, основанный на методах Тихонова и статистической регуляризации, сочетание которых позволяет оптимизировать решение задачи восстановления ВРО [Соломонов и др., 2017]. Данные о профилях температуры и давления в атмосфере над Москвой, необходимые для такого восстановления, брались из базы данных BADC [The British ...].

Суммарная погрешность восстановления профиля вертикального распределения озона (с учетом шума аппаратуры и других экспериментальных погрешностей) при оптимальных условиях наблюдения и времени накопления сигнала ~1 ч не превышала 5–7% на высотах от 20 до 50 км, постепенно возрастающая в более низких и в более высоких слоях. По основным параметрам (чувствительности, точности восстановления профилей озона) аппаратура ФИАН соответствует мировому уровню инструментов такого типа.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Общая характеристика изменений озона

Изменения озона на уровне давления 2 мбар в верхней стратосфере над Москвой в холодные по-

лугодия 2014–2015 и 2015–2016 гг. представлены на рис. 1. Тонкими линиями показаны измеренные значения содержания озона C_{O_3} в единицах отношения смеси ppm, или 10^{-6} . Для устранения короткопериодного шума стратосферы показаны также сглаженные по 10 дням значения C_{O_3} (толстые линии). Как видно из рис. 1, содержание озона испытывало значительные изменения в течение этих двух холодных полугодий.

На рисунке 1 хорошо видны общие черты и различия в изменениях C_{O_3} в рассматриваемые полугодия. Зимой 2014–2015 гг. C_{O_3} изменялось от ~6 ppm в конце октября–начале ноября до минимальных значений, близких к 4.5 ppm, в конце декабря–начале января. Затем наблюдалась тенденция к увеличению озона в зимне-весенний период до значений, близких к 6–6.5 ppm в феврале и 6.5–7 ppm в середине марта 2015 г. Содержание озона в осенне-зимний период 2015–2016 гг. также имело тенденцию к понижению от значений C_{O_3} ~5.5 ppm в середине октября до минимальных значений ~4.5 ppm в конце декабря–начале января с последующим увеличением до ~5.5 ppm в середине января 2016 г. Колебания озона в период с конца января до середины марта 2016 г. характеризовались заметно более низкими значениями C_{O_3} по сравнению с содержанием озона в аналогичный период предыдущего 2015 г. Действительно, в марте 2016 г. содержание озона понизилось до минимальных значений ~4 ppm, в то время как в марте 2015 г. наблюдалась отмеченная выше противоположная тенденция с повышением C_{O_3} почти до 7 ppm.

Разность $\Delta C_{O_3} = C_{O_3}^{II} - C_{O_3}^I$ значений содержания озона $C_{O_3}^{II}$ (для 2015–2016 гг.) и $C_{O_3}^I$ (для 2014–2015 гг.) показана на рис. 2. Видно, что наибольшее различие ΔC_{O_3} приходится на период с начала февраля до середины марта, достигая значений, превышающих 2 ppm (т.е. ~40% от среднемесячного значения $\overline{C_{O_3}}$), в первой половине марта. (Среднемесячные значения $\overline{C_{O_3}}$ получены усреднением данных измерений в ФИАН за 1996–2016 гг.)

Отмеченные различия в характере изменений озона в верхней стратосфере над Москвой в рассматриваемые холодные полугодия оказались связаны с особенностями крупномасштабных атмосферных процессов в эти периоды. Для объяснения наблюдавшихся различий ΔC_{O_3} был выполнен анализ основных параметров стратосферы по методике, аналогичной использованной ранее в работе [Соломонов и др., 2017].

3.2. Холодный период 2014–2015 гг.

Особенностями зимнего периода 2014–2015 гг. явились значительные изменения озона и боль-

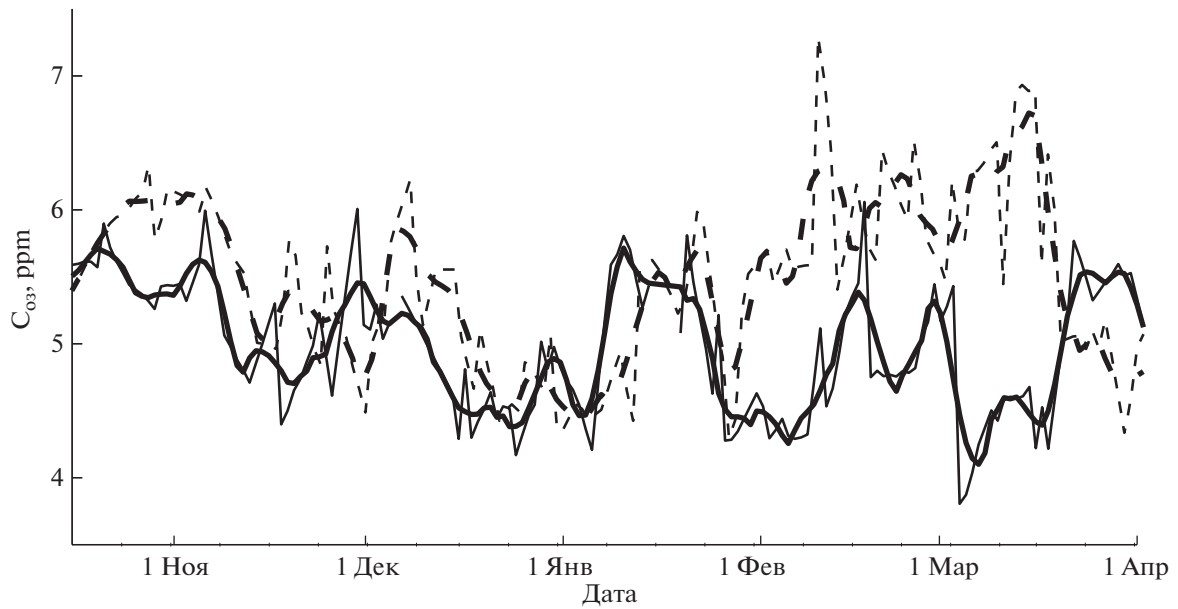


Рис. 1. Относительное содержание озона над Москвой C_{O_3} в единицах ppb на уровне давления 2 мбар в холодные полугодия 2014–2015 гг. (тонкая штриховая линия) и 2015–2016 гг. (тонкая сплошная линия). Толстыми штриховой и сплошной линиями обозначены сглаженные по 10 дням значения C_{O_3} в соответствующие полугодия.

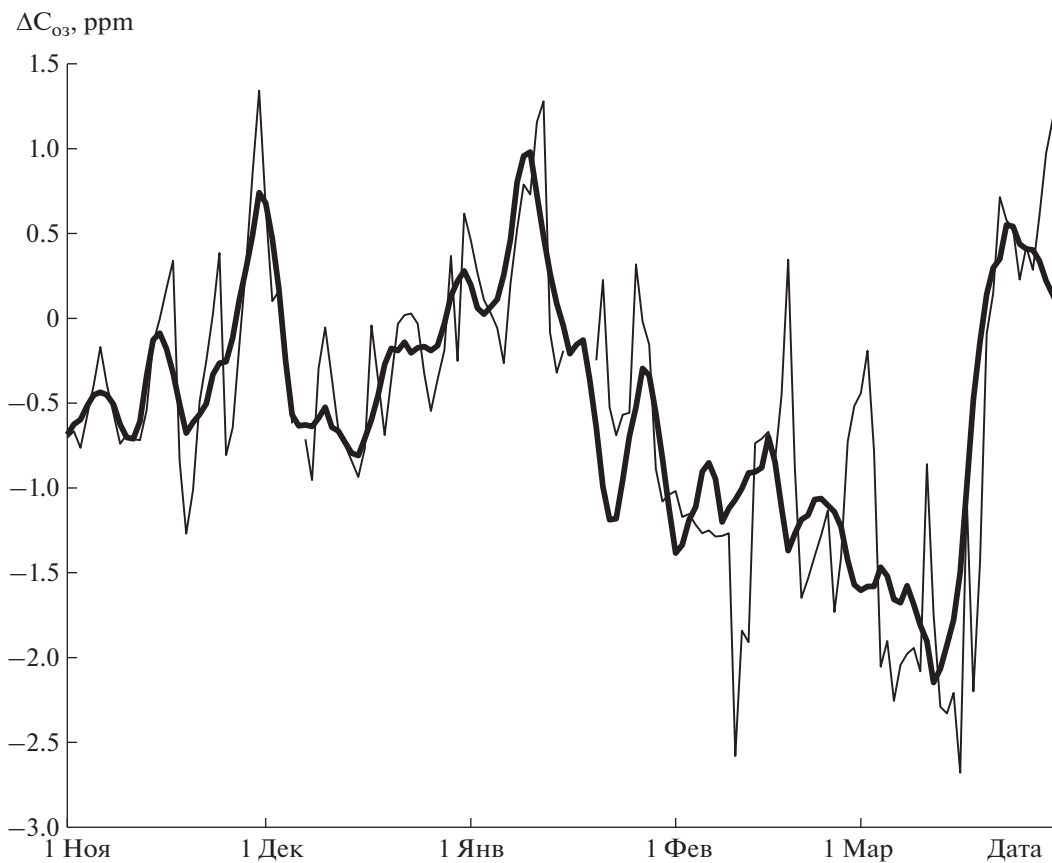


Рис. 2. Разность $\Delta C_{O_3} = C_{O_3}^{II} - C_{O_3}^I$ значений содержания озона $C_{O_3}^{II}$ в 2015–2016 гг. и $C_{O_3}^I$ в 2014–2015 гг. на уровне давления 2 мбар (тонкая линия). Толстая линия – сглаженные по 10 дням значения ΔC_{O_3} .

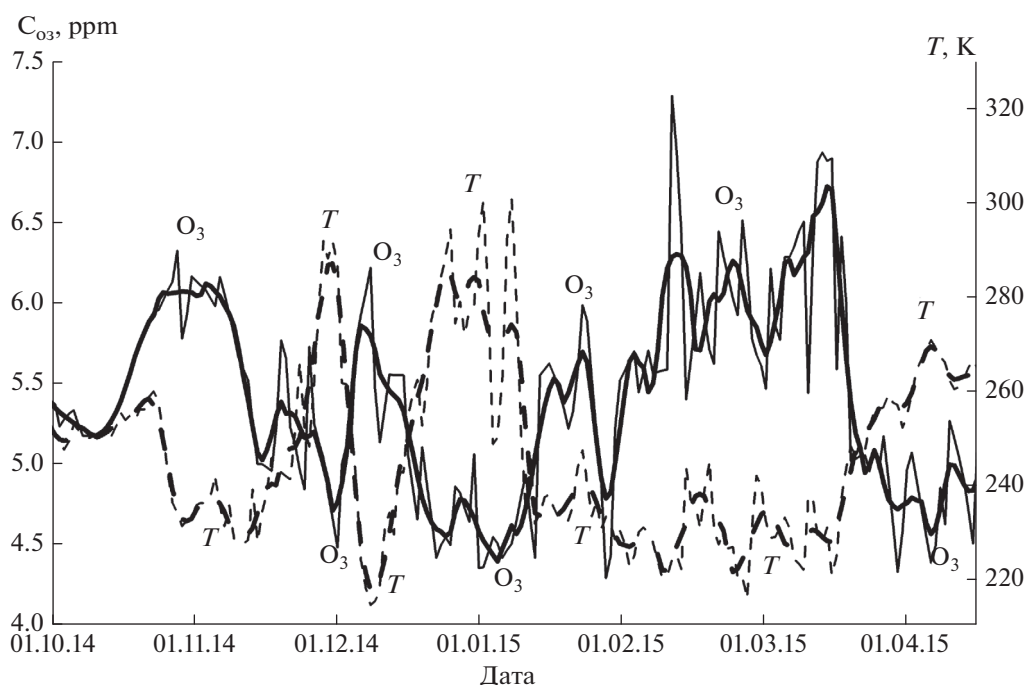


Рис. 3. Содержание озона C_{O_3} (тонкая сплошная линия) и температура T (тонкая штриховая линия) на уровне давления 2 мбар над Москвой в холодное полугодие 2014–2015 гг. Толстыми сплошной и штриховой линиями обозначены сглаженные по 10 дням значения C_{O_3} и T соответственно.

шие перепады температуры T (на 70–80 K) на уровне давления 2 мбар с ноября 2014 г. по первую декаду января 2015 г., вызванные атмосферными динамическими процессами. Для сопоставления изменений озона и температуры на рис. 3 показаны значения C_{O_3} (те же, что и на рис. 1) и T на уровне 2 мбар над Москвой в холодное полугодие 2014–2015 гг. В ноябре и декабре 2014 г. на этом барическом уровне наблюдалась высокая активность планетарной волны с зональным волновым числом $n = 1$ (в поле геопотенциала) с наибольшим значением ее амплитуды A_1 в конце ноября и в конце декабря 2014 г. (рис. 4). Эта активность препятствовала углублению циркумполярного циклона (полярного вихря), а также способствовала появлению разогретых до 290–300 K воздушных масс в стратосфере над европейским сектором северного полушария, включая Московский регион.

Зарегистрированные изменения озона на уровне 2 мбар, как правило, происходили в противофазе с колебаниями температуры (см. рис. 3). Например, понижение C_{O_3} от 6.2 ppm до 4.3 ppm, наблюдавшееся между 8 и 31 декабря 2014 г., сопровождалось ростом температуры от 214 до 293 K.

Другой особенностью холодного полугодия 2014–2015 гг. явилось внезапное стратосферное потепление в январе 2015 г., которое сопровождалось кратковременным (с 3 по 10 января) разделением вихря на две части.

Последующее длительное сохранение пониженной (до ~220 K) температуры в верхней стратосфере обусловлено присутствием воздуха полярного вихря в стратосфере над Москвой со второй декады января до второй половины марта 2015 г. (за исключением нескольких отдельных дней с более высокой температурой до 240 K). В этот период с пониженной температурой произошло увеличение содержания озона до ~6.5–7 ppm к середине марта 2015 г. (см. рис. 3).

Хотя в это полугодие, в целом, не было обнаружено значимой корреляции между содержанием озона и потенциальной завихренностью (PV), тем не менее, в январе 2015 г. такая связь была замечена. На рис. 5 показаны содержание озона C_{O_3} на барическом уровне 2 мбар и значения PV на уровне потенциальной температуры $\theta = 1500$ K (эти уровни близки по высоте). Видно, что увеличение C_{O_3} сопровождалось снижением PV. Отрицательная корреляция озона с потенциальной завихренностью, которая, как известно, является трассером атмосферных движений [Brasseur and Solomon, 2005], может означать влияние переноса воздушных масс на озон, происходящее на фоне температурных колебаний. Действительно, во время внезапного стратосферного потепления и разделения вихря на две части в начале января 2015 г. одна из частей вихря оказалась над Европой. В это время и над Московским регионом оказался воздух вихря с пониженным содержанием

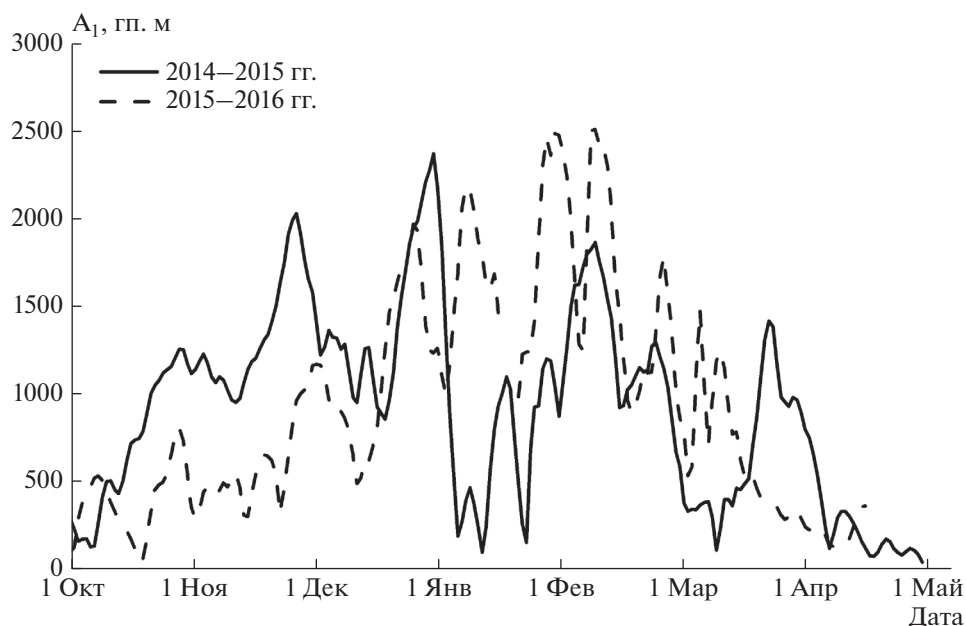


Рис. 4. Значения амплитуды A_1 планетарной волны с зональным волновым числом $n = 1$ (гп. м, уровень давления 10 мбар, $60^\circ N$) для холодных полугодий 2014–2015 (сплошная линия) и 2015–2016 гг. (штриховая линия).

ем озона при повышенных значениях PV. Например, значительно пониженное содержание озона $C_{O_3} = 4.4$ ppb было зарегистрировано 5 января 2015 г. в воздухе отделившейся части вихря. В последующие дни в результате изменения положения полярного вихря верхняя стратосфера над Москвой оказалась вне вихря, содержание озона стало увеличиваться и достигло 6 ppb 22 января (рис. 5). Затем в воздухе вихря, снова оказавшегося над Москвой, величина C_{O_3} снизилась до 4.3–4.4 ppb 27 и 28 января 2015 г. При этом 28 января значения PV возросли в 5 раз.

Если исключить из корреляционного анализа рассмотренные дни января 2015 г., когда над Москвой происходило сильное возмущение верхней стратосферы и отмечалась отрицательная корреляция озона с потенциальной завихренностью, то для остальной части холодного полугодия 2014–2015 гг. была получена отрицательная корреляционная связь озона с температурой. Для временных отрезков с 1 октября до 31 декабря 2014 г. и с 1 февраля по 16 апреля 2015 г. эта связь характеризовалась коэффициентами корреляции $k = -0.7$ и $k = -0.8$ соответственно. Диаграмма рассеяния для связи “озон–температура” показана на рис. 6. Кружками и треугольниками на этом рисунке обозначены данные о C_{O_3} и T на барическом уровне 2 мбар над Москвой для периодов 1 октября–31 декабря 2014 г. и 1 февраля–16 апреля 2015 г. соответственно.

Из изложенного следует, что понижения озона в верхней стратосфере над Москвой в декабре 2014 г. – январе 2015 г. были вызваны разными причинами: влиянием повышенной температуры вне поляр-

ного вихря, а также влиянием процессов в вихре при появлении его воздуха над Москвой.

Таким образом, характерными особенностями температурного режима верхней стратосферы над Москвой в холодное полугодие 2014–2015 гг. явились большие перепады температуры в ноябре, декабре и в начале января и продолжительный период с пониженными температурами с января по март. Эти особенности отразились и на изменениях озона. Повышенные температуры во второй половине декабря, в соответствии с фотохимической теорией [Scientific ..., 2014; Brasseur and Solomon, 2005], могли способствовать росту скоростей фотохимических реакций разрушения озона и привести к наблюдавшемуся снижению его содержания в верхней стратосфере над Москвой в это время, а продолжительное сохранение низких температур с января по март, наоборот, могло привести к замедлению этих реакций и к соответствующему увеличению содержания озона в освещенной Солнцем стратосфере над Москвой в начале 2015 г.

3.3. Холодный период 2015–2016 гг.

Как отмечено выше, холодный период 2015–2016 гг. отличался от предыдущего более низкими значениями содержания озона C_{O_3} на уровне 2 мбар в период с конца января до конца марта 2016 г. (см. рис. 1). В отличие от холодного периода 2014–2015 гг. планетарная волна с $n = 1$ в ноябре 2015 г. была более слабой (см. рис. 4), что привело к образованию очень глубокого интенсивного стратосферного по-

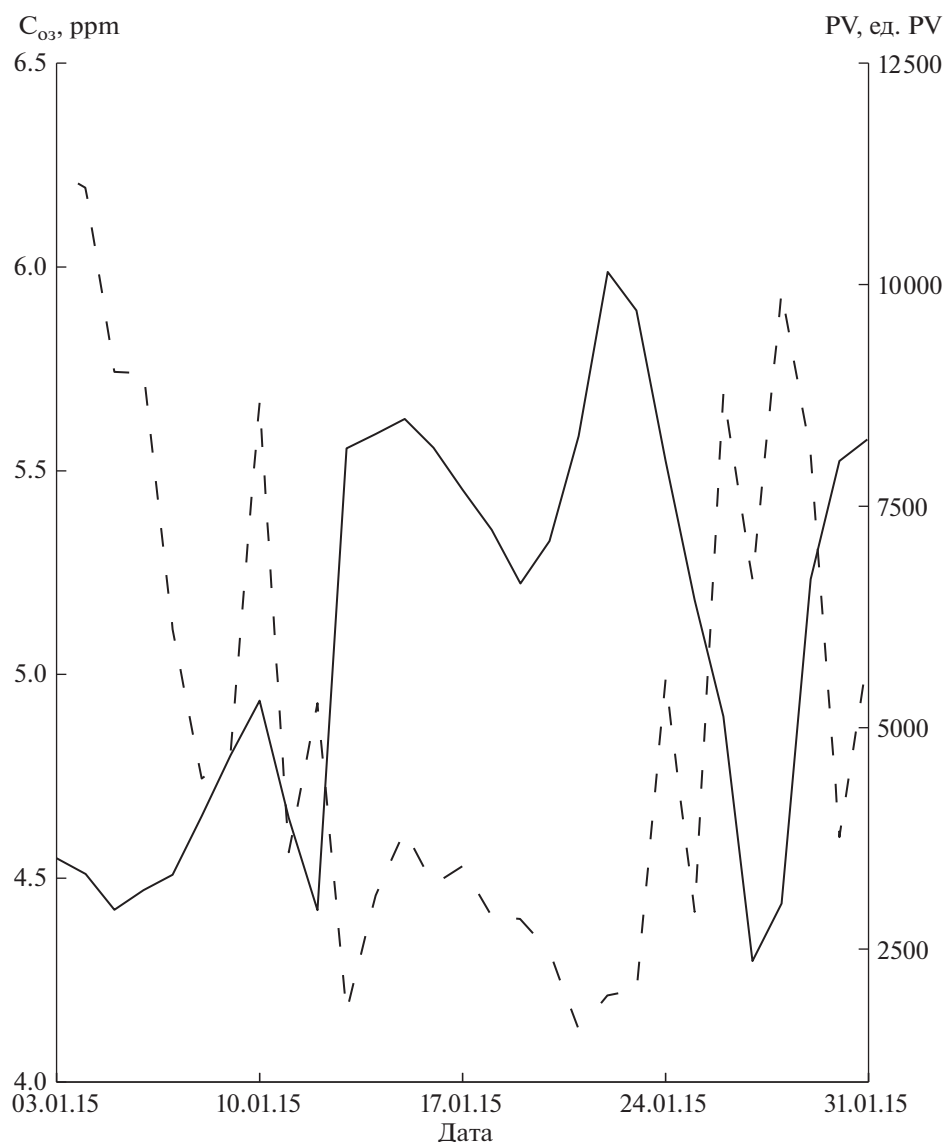


Рис. 5. Содержание озона C_{O_3} на уровне давления 2 мбар (сплошная линия) и значения потенциальной завихренности PV на уровне потенциальной температуры $\theta = 1500$ К (штриховая линия) над Москвой в январе 2015 г. (1 ед. PV = 10^{-6} К м² кг⁻¹ с⁻¹).

лярного вихря в декабре 2015 г.—феврале 2016 г., который быстро разрушился в результате внезапного мажорного финального потепления в начале марта 2016 г.

По температурному режиму верхняя стратосфера над Москвой зимой 2015—2016 гг. также отличалась от предыдущего холодного полугодия более высокими температурами с января по март и отсутствием больших и резких перепадов температуры в начале зимы. Причем в первую декаду февраля и в начале марта 2016 г. температура была на ~50 К выше ее значений в 2015 г. (см. рис. 3 и рис. 7).

В декабре 2015 г. и январе 2016 г. связь озона с температурой была слабой. Вместе с тем, в эти месяцы была обнаружена связь изменений озона с переносом воздушных масс верхней стратосфе-

ры. На рис. 8 представлены изменения C_{O_3} на уровне 2 мбар и PV на уровне $\theta = 1500$ К в декабре 2015 г. и январе 2016 г. В декабре 2015 г. полярный вихрь имел огромные размеры и оказывал влияние на верхнюю стратосферу над Москвой: при неоднократных появлениях воздуха вихря над Москвой содержание озона и температура в верхней стратосфере были пониженными при повышенных значениях PV. В начале января 2016 г. влияние вихря продолжалось. Так, например, низкое значение содержания озона $C_{O_3} = 4.2$ ppm было зарегистрировано 6 января в воздухе вихря при пониженной температуре и высоком значении PV.

Во второй декаде января 2016 г. верхняя стратосфера над Москвой оказалась вне полярного

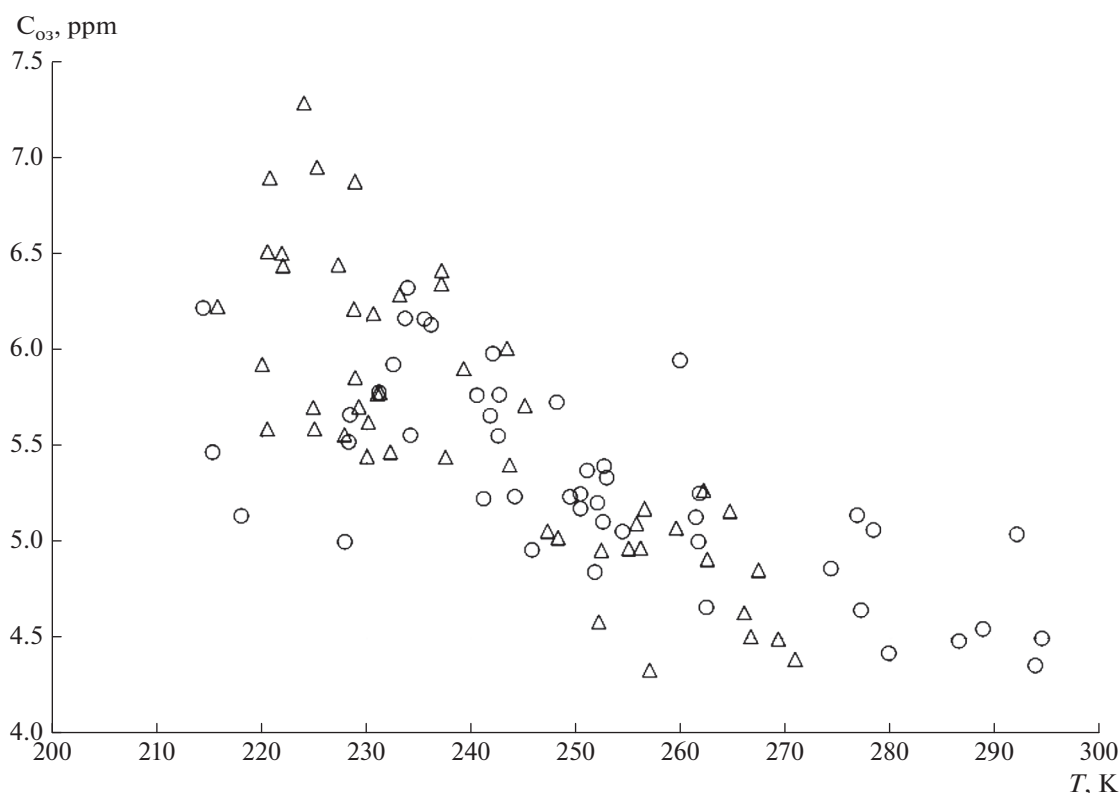


Рис. 6. Диаграмма рассеяния для связи “озон–температура”. Знаками о и Δ обозначены данные о C_{O_3} и T на уровне давления 2 мбар над Москвой для периодов 1 октября–31 декабря 2014 г. и 1 февраля–16 апреля 2015 г. соответственно.

вихря, что привело к увеличению содержания озона, которое к 12 января достигло $C_{O_3} = 5.7$ ppb и затем колебалось между 5.0 и 5.8 ppb до 21 января 2016 г. В третьей декаде января 2016 г. при перемещении вихря к Европе на уровне давления 2 мбар над Москвой вновь оказался воздух вихря с пониженным содержанием озона. Так, 27 января 2016 г. отношение смеси озона на уровне 2 мбар составило $C_{O_3} = 4.3$ ppb.

Этим изменениям озона, как правило, соответствовали противоположные по знаку изменения потенциальной завихренности (см. рис. 8). Для коэффициента корреляции между содержанием озона C_{O_3} и потенциальной завихренностью PV за два месяца, декабрь 2015 г. и январь 2016 г., было получено отрицательное значение $k = -0.8$. При этом корреляция между вариациями озона на уровне 2 мбар и температурой практически отсутствовала.

Пониженные значения C_{O_3} , наблюдавшиеся в конце января, сохранялись до первой декады февраля 2016 г. (см. рис. 1). Отметим, что уменьшение C_{O_3} в конце января–начале февраля произошло по разным причинам: при появлении холодного воздуха вихря с пониженным содержанием озона в конце января и в теплом воздухе из

более низких широт в начале февраля (см. рис. 7). Действительно, в начале февраля воздуха вихря над Москвой уже не было, температура повысилась, но содержание озона осталось пониженным. На рис. 7, где представлены значения C_{O_3} и T на уровне 2 мбар в феврале и марте 2016 г., видно, что изменения озона сопровождалось изменениями температуры, в основном, противоположного знака. Подобный характер изменений озона, связанный с вариациями температуры, сохранялся до середины марта 2016 г. Коэффициент корреляции, характеризующий связь озона и температуры с начала февраля до середины марта 2016 г., оказался отрицательным и равным $k = -0.7$.

Таким образом, в декабре 2015 г. и январе 2016 г. выявлена сильная отрицательная корреляционная связь содержания озона с потенциальной завихренностью при слабой связи с температурой, а в феврале и марте 2016 г., в условиях более высоких температур по сравнению с соответствующими месяцами 2015 г., наоборот, обнаружена сильная отрицательная корреляционная связь озона с температурой и зарегистрированы более низкие, чем в 2015 г., значения C_{O_3} .

Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что со второй половины декабря 2015 г. до конца января 2016 г. изменения озона в верхней

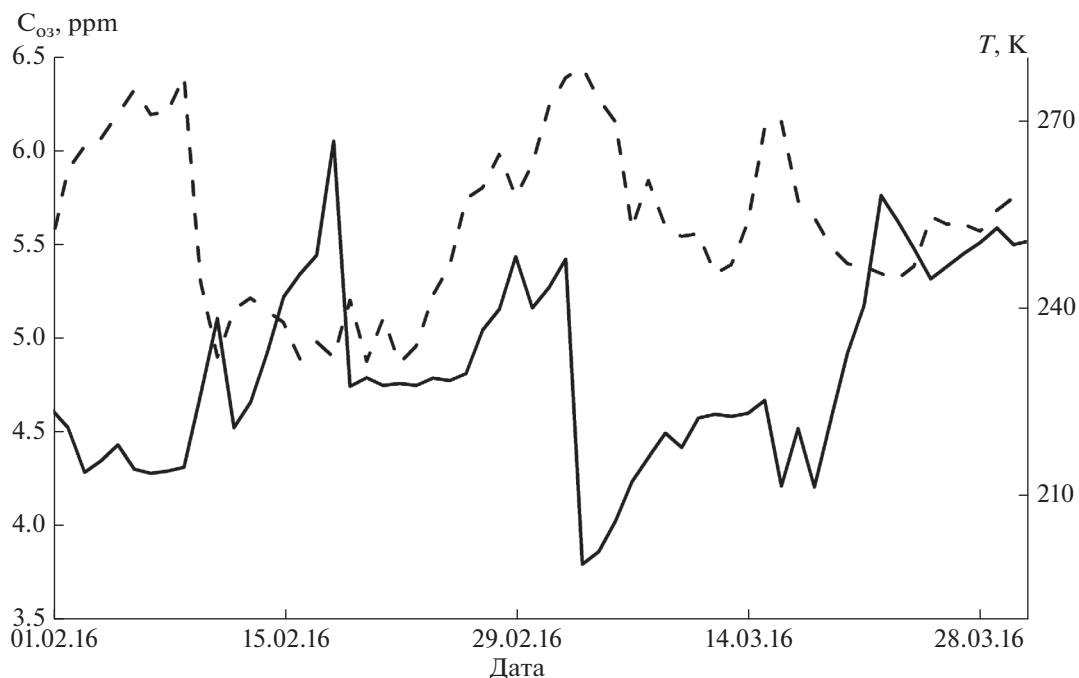


Рис. 7. Содержание озона C_{O_3} (сплошная линия) и температура T (штриховая линия) на уровне давления 2 мбар над Москвой в феврале–марте 2016 г.

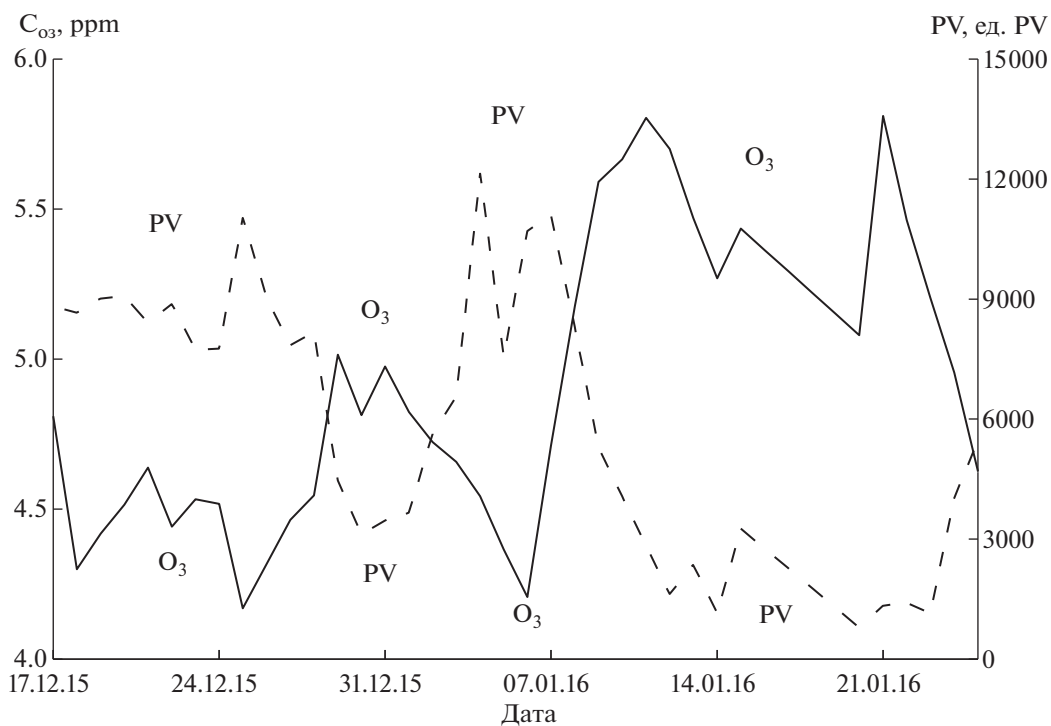


Рис. 8. Содержание озона C_{O_3} на уровне 2 мбар (сплошная линия) и потенциальная завихренность PV на уровне потенциальной температуры $\theta = 1500$ К (штриховая линия) над Москвой в декабре 2015 г. и январе 2016 г.

стратосфере над Москвой были вызваны преимущественно динамическими процессами, переносом воздушных масс, а в феврале–марте 2016 г., в

условиях солнечного освещения, наблюдавшиеся изменения озона связаны, в большей степени, с фотохимическими факторами.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные новые данные об изменениях содержания озона в верхней стратосфере над Москвой в холодные полугодия 2014–2015 и 2015–2016 гг. показывают существенную зависимость этих изменений от характера динамических и тепловых процессов в стратосфере.

Особенностями состояния верхней стратосферы над Москвой в холодное полугодие 2014–2015 гг. явились повышенная активность планетарных волн, большие перепады температуры в первой половине зимы и длительный период с пониженными температурами с января по март 2015 г. Полярный вихрь был неглубоким и долгоживущим в течение всего полугодия, причем в феврале–марте холодный воздух вихря находился в стратосфере над Москвой. Эти процессы привели к сильной отрицательной корреляции содержания озона и температуры. Обнаружена тенденция к увеличению озона в зимне-весенние месяцы до наибольших значений в середине марта 2015 г.

Напротив, холодное полугодие 2015–2016 гг. характеризовалось возникновением в ноябре–декабре интенсивного полярного вихря в северном полушарии, что было связано с меньшей активностью планетарных волн. Мажорное финальное потепление в начале марта 2016 г. привело к полному разрушению вихря. Вариации озона в верхней стратосфере над Москвой в декабре 2015 г. и январе 2016 г. были связаны с перемещениями полярного вихря, с чередованием воздушных масс, принадлежащих вихрю и областям вне вихря. В конце этого холодного полугодия более высокие температуры (по сравнению с тем же периодом начала 2015 г.) привели к пониженным значениям содержания озона.

Наибольшее межгодовое различие содержания озона ΔC_{O_3} приходится на период с начала февраля до середины марта, причем в первой половине марта оно превышает 40% от среднемесячного значения $\overline{C_{O_3}}$.

Полученные результаты важны для лучшего понимания влияния атмосферных процессов на вариации озона в верхней стратосфере в условиях изменений теплового режима стратосферы и переноса воздушных масс. Необходимо продолжение микроволнового мониторинга вертикального распределения озона в стратосфере, в том числе в ее верхних слоях.

Работа поддержана Программами ОФН РАН “Современные проблемы радиофизики”, “Новые источники миллиметрового и терагерцового излучения и их перспективные приложения” и “Радиоэлектронные методы в исследовании природной среды и человека”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Розанов С.Б., Игнатьев А.Н., Лукин А.Н. Влияние сильных внезапных стратосферных потеплений на озон в средней стратосфере по наблюдениям на миллиметровых волнах // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 57. № 3. С. 392–400. 2017.
- Bando J., Solomon S., Santer B.D., Kinnison D.E., Mills M.J. Detectability of the impacts of ozone-depleting substances and greenhouse gases upon stratospheric ozone accounting for nonlinearities in historical forcings // Atmos. Chem. Phys. V. 18. № 1. P. 143–166. 2018.
- [Электронный ресурс]: <https://doi.org/doi10.5194/acp-18-143-2018>.
- Brasseur G.P., Solomon S. Aeronomy of the Middle Atmosphere. Chemistry and Physics of the Stratosphere and Mesosphere. 3rd Ed. 651 p. 2005.
- Scientific assessment of ozone depletion: 2014 World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project. Report № 55. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 2014.
- [Электронный ресурс]: <http://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/2014/report.html>.
- The British Atmospheric Data Centre (BADC). URL: http://badc.nerc.ac.uk/view/badc.nerc.ac.uk_ATOM_dataent_ASSIM.