

УДК 551.524.7

ГОДОВЫЕ И СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ НАПОЛНЕНИЯ СТРАТОСФЕРЫ ФОНОВЫМ АЭРОЗОЛЕМ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ*

В. Н. Маричев, Д. А. Бочковский

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055,
г. Томск, площадь Академика Зуева, 1
E-mail: marichev@iao.ru, moto@iao.ru

В статье анализируются экспериментальные данные по изменчивости вертикально-временной структуры аэрозоля и его интегрального содержания в стратосфере, полученные на лидарном комплексе станции высотного зондирования атмосферы ИОА СО РАН за 2018 г., а также приводятся их некоторые сравнения с предыдущими результатами 2016-17 годами. В качестве первичной информации для анализа использовался массив данных из 61 суммарных сигналов, накопленных в отдельные ночи. Интервал зондируемых высот простирался от 10 до 50-60км, пространственное разрешение составляло 192 м., время накопления суммарного сигнала - 2 час. По результатам наблюдений, как и в предыдущие годы, зарегистрировано высокое содержание аэрозоля в нижней стратосфере в зимние месяцы года и практическое отсутствие в теплый период. В верхней стратосфере (30 - 50 км) в течение всего года фоновый аэрозоль отсутствует.

Ключевые слова: стратосфера, аэрозоль, лидар

© Маричев В. Н., Бочковский Д. А., 2019

Введение

Ранее в работах [1]- [7] нами были представлены результаты лидарных наблюдений за изменением вертикальной структуры аэрозоля в различные месяцы года за период 2010-2017 гг. Работа в данном направлении продолжалась и в 2018 г. Для всего указанного периода характерным являлось отсутствие мощных вулканических извержений, которые могли бы оказывать влияние на заметное возмущение аэрозольной компоненты стратосферы Северного полушария, включая регион Западной Сибири. Поэтому имелась возможность проследить особенности вертикально-временной изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в Западной Сибири за достаточно длительный временной интервал.

*Работа выполнена в рамках базового проекта №АААА-А17-117021310145-6 при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №19-45-700008 и гранта президента МК-4592.2018.8.

В качестве первичной информации для анализа за 2017 г. использовался массив данных из 61 суммарных сигналов, накопленных в отдельные ночи. Интервал зондируемых высот простирался от 10 до 50-60 км., пространственное разрешение составляло 192м. Прием лидарных сигналов велся в режиме счета фотоимпульсов с накоплением по 12×10^4 запускам лазерных импульсов (время накопления - около двух часов за ночь). В качестве параметра, описывающего вертикальную стратификацию аэрозоля, представлена оптическая характеристика $R(H)$ – отношение аэрозольного рассеяния (H – текущая высота). По определению $R(H)$ – отношение суммы коэффициентов аэрозольного и молекулярного коэффициентов обратного рассеяния к молекулярному коэффициенту обратного рассеяния. Для примера, выполнение условий $R(H)=1$ означает отсутствие на данных высотах аэрозоля, и, наоборот, там, где $R(H)>1$, появляется аэрозоль.

Результаты наблюдений

Результаты измерений среднемесячной динамики вертикальной стратификации аэрозоля за 2018 г. приведены на рис.1.

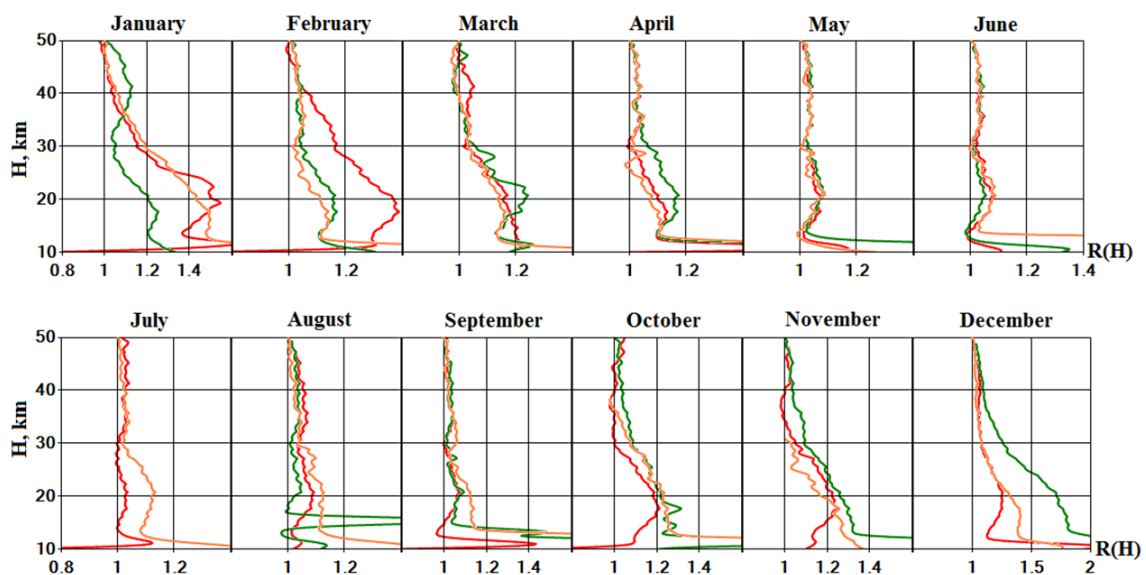


Рис. 1. Среднемесячные профили вертикальной стратификации аэрозоля за 2016 - 2018 гг., представленные через параметр аэрозольного отношения рассеяния $R(H)$. Кривые красного цвета – 2016 г., зеленого цвета – 2017 г. и желтого цвета – 2018 г.

Здесь же для сравнения представлены данные за 2016 и 2017 гг.

Из сравнительного анализа с нашими наблюдениями за предыдущие годы [1]- [7], а также в работах [8]- [10], подтверждается тенденция максимального аэрозольного наполнения нижней стратосферы в зимний период года с убыванием весной и практически отсутствием в мае - сентябре. С октября начинается постепенное возрастание содержания аэрозоля до его максимального значения в декабре-январе. Однако, согласно рис. 1, наблюдается значительное отличие для некоторых среднемесячных профилей данных лет. Так, для января аэрозольное наполнение в 2016 и в 2018 годах до высот 30 км значительно превосходило наполнение за 2017 год, а

в феврале 2016 года наблюдался протяженный (до 40 км), с монотонным убыванием аэрозольный слой, более интенсивный по сравнению со слоями 2017 -18 годами. Особенно высокое содержание аэрозоля наблюдалось в декабре 2017 г. В период март - ноябрь, как видно из рис.1., вертикальная стратификация аэрозоля идентична для указанных годов.

Временная динамика полного наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в 2016-18гг., выраженная через параметр интегрального коэффициента обратного аэрозольного рассеяния, показана на рис.2.

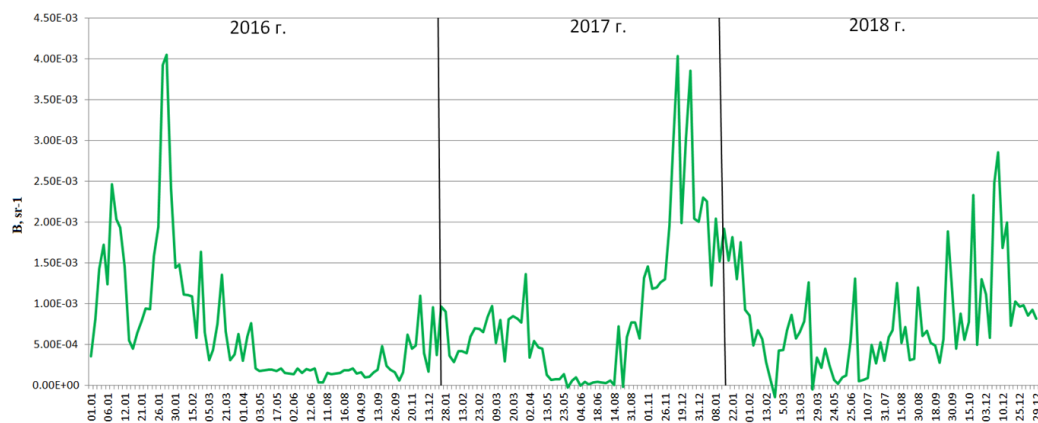


Рис. 2. Временная динамика полного наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в 2016-18гг.

Из представленного на рис.2 ряда наблюдений проявляется слабое аэрозольное наполнение холодного периода ноябрь 2016 - апрель 2017 года и достаточно заметного с резкими перепадами по времени периода январь - апрель 2016 года и сильного периода октябрь 2017 - февраль 2018 года. Минимальное аэрозольное наполнение происходило в мае -сентябре 2016 года и мае -августе 2017 года. В 2018 году весной, летом и осенью наряду с минимумами содержания аэрозоля отмечались резкие скачки. Таким образом, как по дифференциальному $R(H)$, так и по интегральному B параметрам явно проявляется тенденция максимального аэрозольного наполнения стратосферы зимой, малого содержания, вплоть до полного отсутствия летом и промежуточным значением с убыванием весной и ростом осенью. Как было указано выше, данный факт подтверждается предыдущими многолетними измерениями.

Динамика внутримесячных вариаций аэрозольного наполнения стратосферы показана на рис. 3 - 11.

В январе 2018г. по сравнению с наблюдениями 2017 года отмечалось достаточно стабильная стратификация аэрозоля с монотонным убыванием по высоте и высоким содержанием аэрозоля в нижней стратосфере, особенно в первые даты месяца. Практическое отсутствие аэрозоля в слое от 30 до 50 км было зарегистрировано 13, 24, 26 и 31 января.

В феврале в течение всего месяца наблюдалась необычная ситуация с очень низким содержанием аэрозоля во всем слое стратосферы. Примерно такая же ситуация с незначительным содержанием аэрозоля, только в его нижнем слое 10-30 км регистрировалось в марте.

Период апрель - июнь из-за облачности атмосферы представлен единичными измерениями. По ним можно судить об отсутствии аэрозольной компоненты в верхней стратосфере и некоторыми вариациями ее интенсивности в нижней.

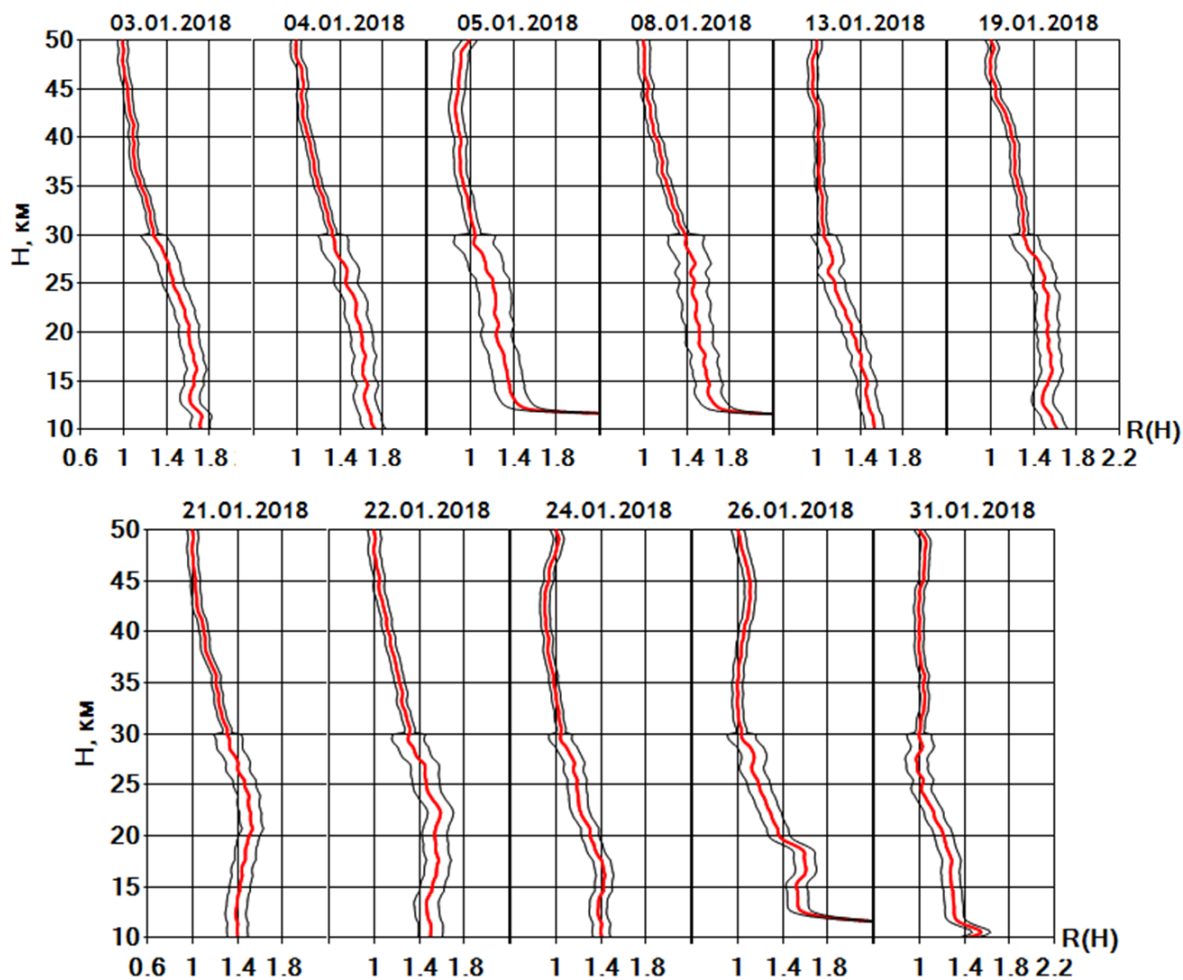


Рис. 3. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в январе 2018 г.

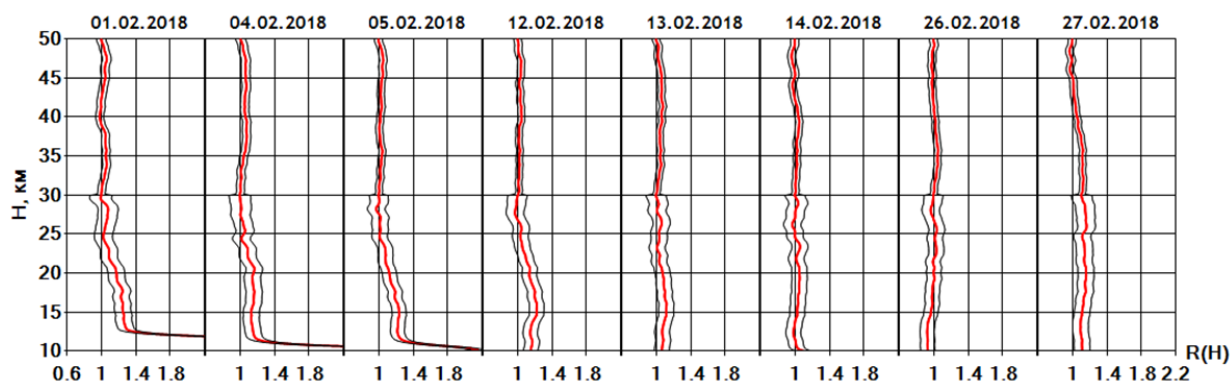


Рис. 4. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в феврале 2018 г.

Резкое увеличение отношения рассеяния $R(H)$ в нижней части отдельных графиков (дат наблюдений) обусловлен появлением циррусов.

Аналогичная картина вертикальной стратификации аэрозоля в стратосфере с некоторым ростом аэрозольной компоненты в ее нижней части наблюдалось в июле, августе и сентябре (рис.7-9).

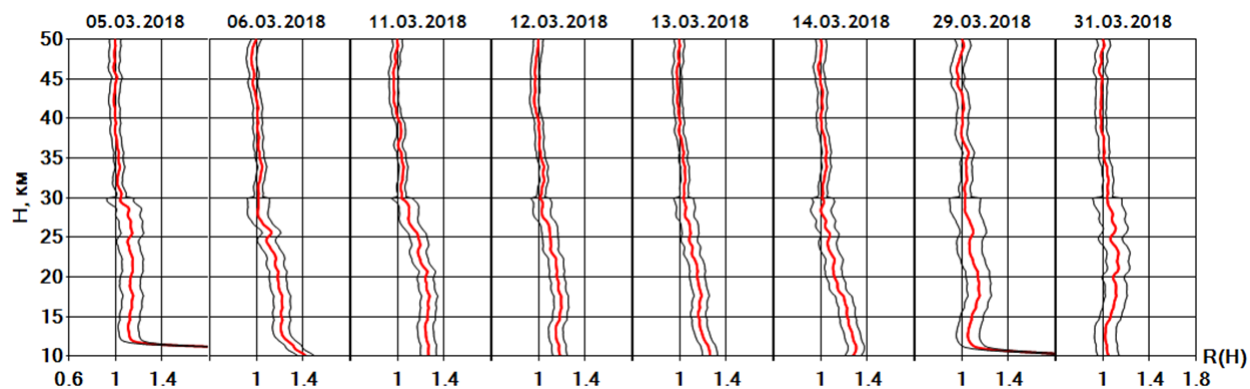


Рис. 5. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в марте 2018 г.

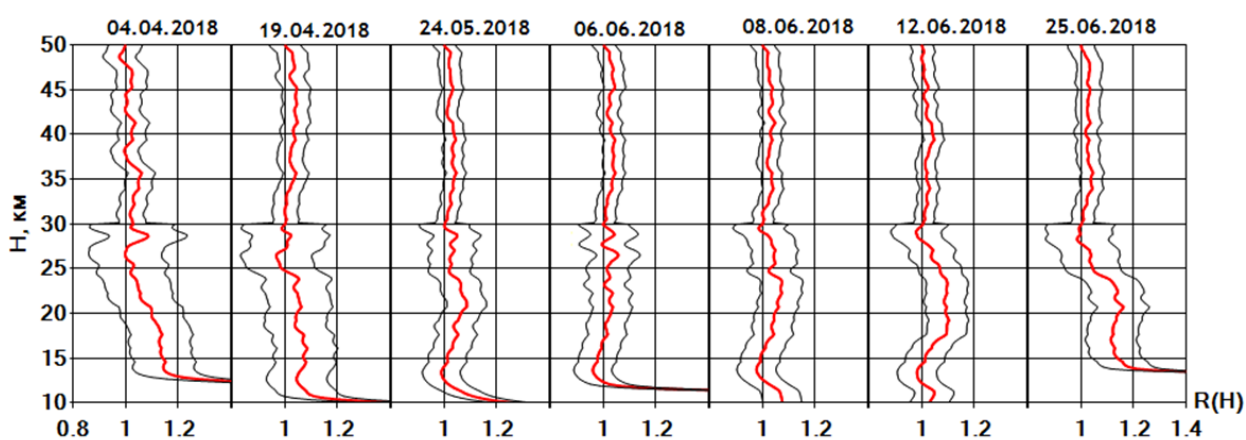


Рис. 6. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в мае - июне 2018 г.

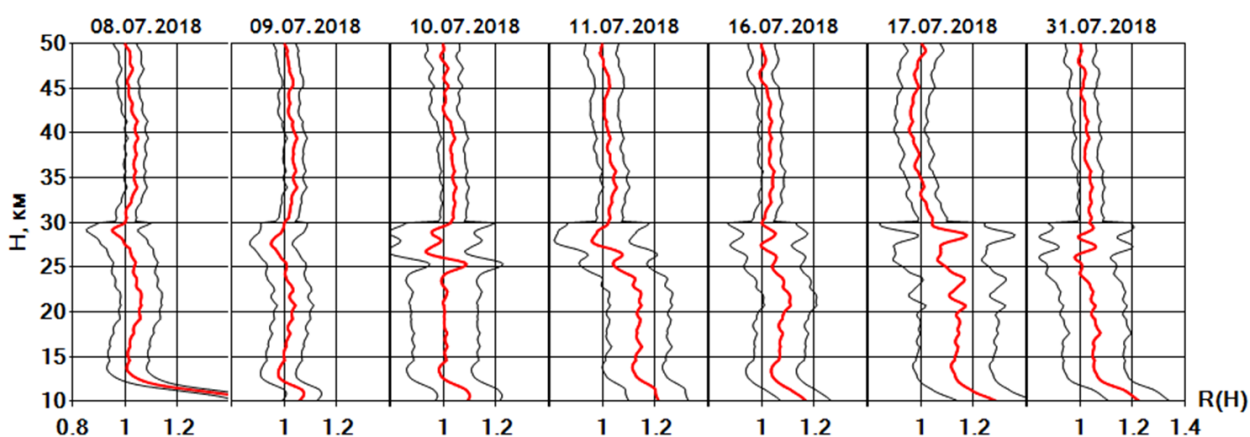


Рис. 7. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в июле 2018 г.

В октябре и ноябре (рис. 10) наблюдаются флуктуации аэрозольной компоненты с ее значительным возрастанием для отдельных дат и проникновением аэрозоля в верхнюю стратосферу (26 октября и 18 ноября).

Наибольшее количество наблюдений 2018-го года было выполнено в декабре (рис.11).

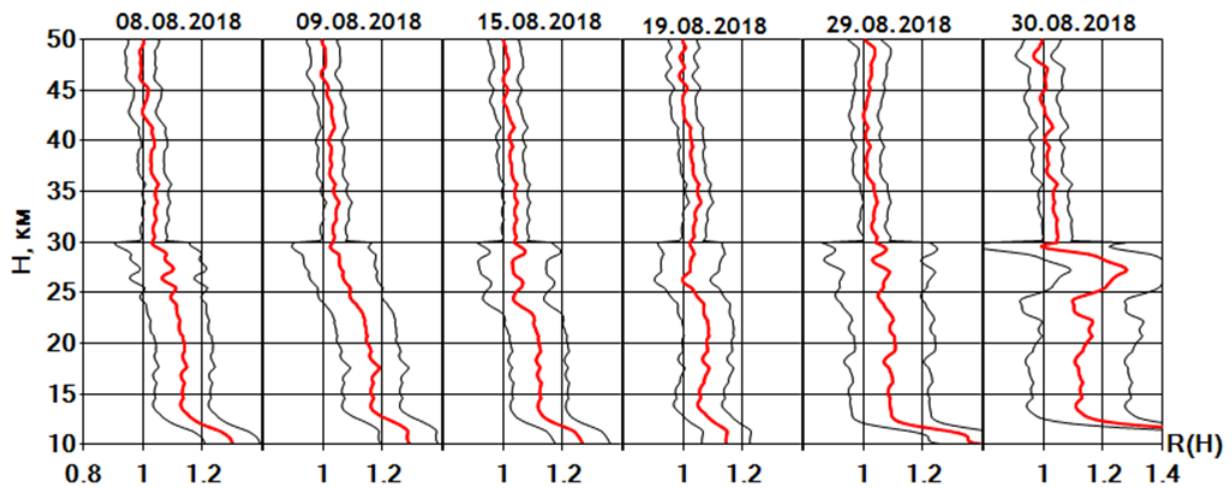


Рис. 8. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в августе 2018 г.

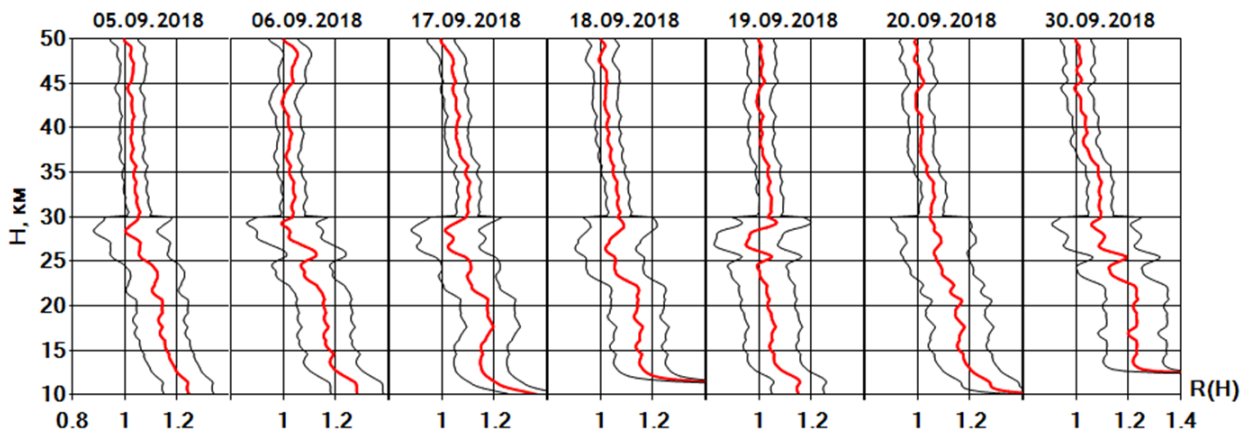


Рис. 9. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в сентябре 2018 г.

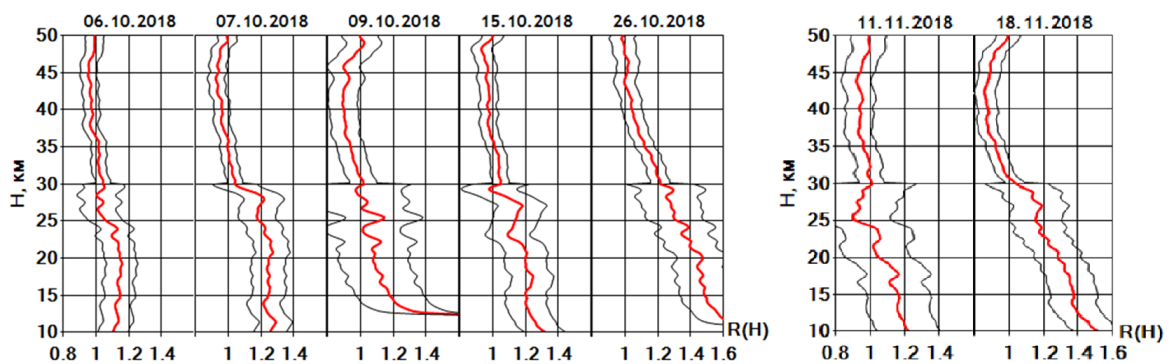


Рис. 10. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в октябре - ноябре 2018 г.

В этот месяц становится в целом заметным рост наполнения нижней стратосферы аэрозолем, включая его некоторые вариации. При этом в верхней части стратосферы аэрозоль не наблюдался.

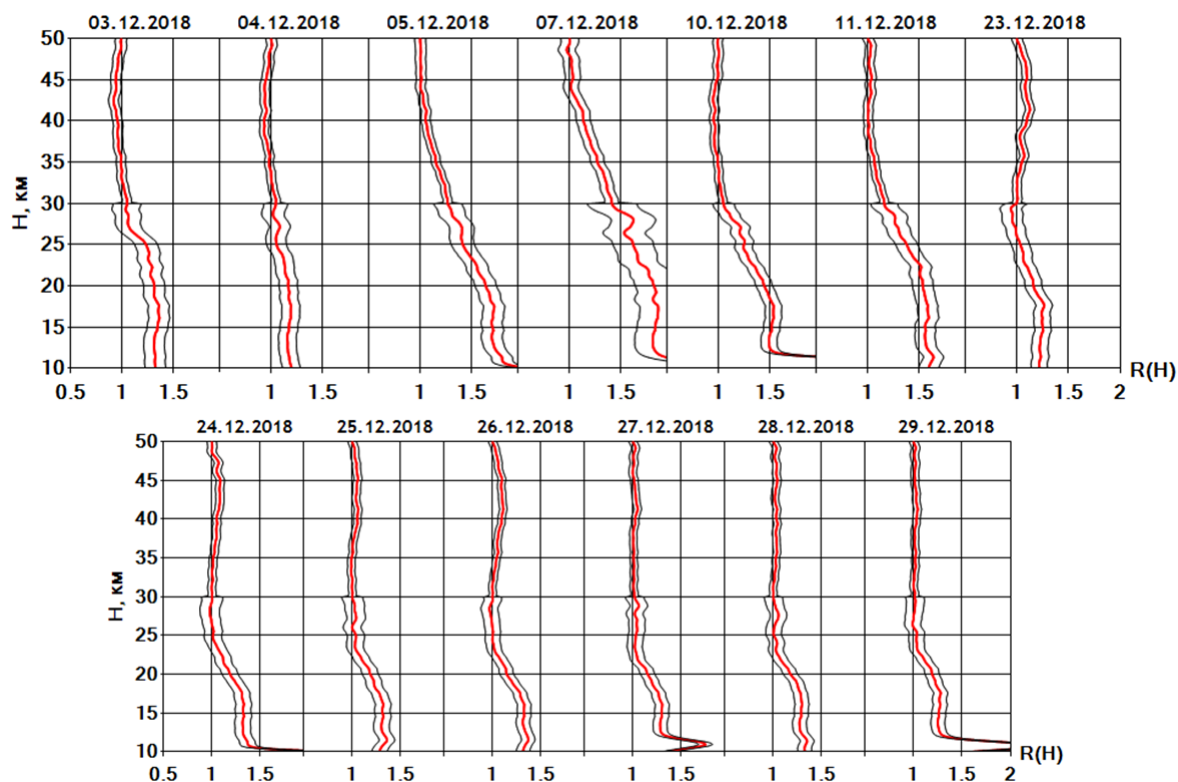


Рис. 11. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в декабре 2018 г.

Заключение

Таким образом, по результатам анализа среднемесячной стратификации аэрозоля в стратосфере за 2018 г. установлено, что его максимальное значение отмечается в январе в протяженном слое до 40 км и с некоторым спадом присутствует в феврале - апреле в слое до 30 км. Стратификация аэрозоля в марте и апреле аналогична стратификации за 2016-17г., но в 2016 г. для февраля отмечалось более интенсивное наполнение нижней стратосферы аэрозолями по сравнению с февралем 2017-18 гг. В период май - сентябрь аэрозольная компонента полностью отсутствует в верхней стратосфере и с небольшим содержанием варьирует в нижней. Полученные для этого теплого периода года результаты согласуются с результатами полученных ранее многолетних наблюдений.

Из исследования временной динамики интегрального наполнения стратосферы за 2016-18 гг. зарегистрировано максимальное содержание аэрозоля для периода ноябрь 2017-февраль 2018гг., несколько меньшее - для периода январь - февраль 2016 г. и минимальное ноябрь 2016 - апрель - 2017.

Список литературы/References

- [1] Маричев В. Н., "Исследование изменчивости вертикальной структуры фонового аэрозоля в стратосфере над Томском на основе лидарных наблюдений в 2010-2011 гг.", *Оптика атмосферы и океана*, **25**:11 (2012), 976-984. [Marichev V. N., "Issledovaniye izmenchivosti vertikal'noy struktury fonovogo aerolya v stratosfere nad Tomskom na osnove lidarnykh nablyudeniyy v 2010-2011 gg.", *Optika atmosfery i okeana*, **25**:11 (2012), 976-984, (in Russian)].

- [2] Маричев В. Н., “Лидарные исследования изменчивости аэрозольного наполнения стратосферы над Томском для фоновых условий”, *Сборник докладов 19-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»*, Алтай, г. Барнаул, база отдыха «Золотое озеро», 1-6 июля 2013 г., г. Барнаул, 2013, D51–D56. [Marichev V. N., “Lidarnyye issledovaniya izmenchivosti aerazol'nogo napolneniya stratosfery nad Tomskom dlya fonovykh usloviy”, *Sbornik dokladov 19-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery»*, Altay, g. Barnaul, baza otdykha «Zolotoye ozero», 1-6 iyulya 2013 g., g. Barnaul, 2013, D51–D56, (in Russian)].
- [3] Маричев В. Н., “Лидарные исследования годовой изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем над Томском в период 2011-13гг”, *Сборник докладов 20-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»*, г. Новосибирск, курорт-отель «Сосновка», 23-27 июня 2014 г., г. Новосибирск, D62-D66. [Marichev V. N., “Lidarnyye issledovaniya godovoy izmenchivosti napolneniya stratosfery fonovym aerozolem nad Tomskom v period 2011-13gg”, *Sbornik dokladov 20-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery»*, g. Novosibirsk, kurort-otel' «Sosnovka», 23-27 iyunya 2014 g., g. Novosibirsk, D62-D66, (in Russian)].
- [4] Маричев В. Н., Бочковский Д. А., “Исследование изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в 2014 г.”, *Сборник докладов 21-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»*, г. Томск, 22-26 июня 2015 г., г. Томск, D41-D45. [Marichev V. N., Bochkovskiy D. A., “Issledovaniye izmenchivosti napolneniya stratosfery fonovym aerozolem v 2014 g.”, *Sbornik dokladov 21-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery»*, g. Tomsk, 22-26 iyunya 2015 g., g. Tomsk, D41-D45, (in Russian)].
- [5] Marichev V. N., Bochkosvkii D. A., “Studying the variations in background aerosol loading of the stratosphere in 2014”, *Proceedings of SPIE*, **9680** (2015).
- [6] Marichev V. N., Bochkosvkii D. A., “Investigation of variability of the vertical stratification of background aerosol over Tomsk in 2015”, *Proceedings of SPIE*, **10035** (2016), 100356C-1 - 100356C-5.
- [7] Маричев В. Н., Бочковский Д. А., “Исследование изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем над Томском в 2016 г. по данным лидарных наблюдений”, *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 2017, №4(20), 36-43. [Marichev V. N., Bochkovsky D. A., “Investigation of variability of stratosphere filling by background aerosol over tomsk in 2016 by the data of lidar observations.”, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat.nauki*, 2017, №4(20), 36-43, (in Russian)].
- [8] Бурлаков В. Д., Долгий С. И., Невзоров А. В., Самохвалов И. В., Насонов С. В., Животенюк И. В., Ельников А. В., Назаров Е. В., Плюснин И. И., Шиханцов А. М., “Следы извержения вулкана Эйяфьятлайокудль по данным лидарных наблюдений в Томске и Сургуте”, *Оптика атмосферы и океана*, **24**:10 (2011), 872-879. [Burlakov V. D., Dolgiy S. I., Nevzorov A. V., Samokhvalov I. V., Nasonov S. V., Zhivotenyuk I. V., Yel'nikov A. V., Nazarov Ye. V., Plyusnin I. I., Shikhantsov A. M., “Sledy izverzheniya vulkana Eyaf'yatlayokudl' po dannym lidarnykh nablyudeniya v Tomske i Surgute”, *Optika atmosfery i okeana*, **24**:10 (2011), 872-879, (in Russian)].
- [9] Бурлаков В. Д., Долгий С. И., Невзоров А. В., “Лидарные наблюдения аэрозольных возмущений стратосферы над Томском (56,5°с.ш.; 85,0°в.д.) в период вулканической активности 2006-2010 гг.”, *Оптика атмосферы и океана*, **24**:12 (2011), 1031-1040. [Burlakov V. D., Dolgiy S. I., Nevzorov A. V., “Lidarnyye nablyudeniya aerazol'nykh vozmushcheniy stratosfery nad Tomskom (56,5°s.sh.; 85,0°v.d.) v period vulkanicheskoy aktivnosti 2006-2010 gg.”, *Optika atmosfery i okeana*, **24**:12 (2011), 1031-1040, (in Russian)].
- [10] Долгий С. И., Бурлаков В. Д., Макеев А. П., Невзоров А. В., Шмирко К. А., Павлов А. Н., Столярчук С. Ю., Букин О. А., Чайковский А. П., Осипенко Ф. П., Трифонов Д. А., “Аэрозольные возмущения стратосферы после извержения вулкана Гримсвотн (Исландия, май 2011 г.) по данным наблюдений станций лидарной сети стран СНГ CIS-LiNet в Минске, Томске и Владивостоке”, *Оптика атмосферы и океана*, **26**:7 (2013), 547-552. [Dolgiy S. I., Burlakov V. D., Makeyev A. P., Nevzorov A. V., Shmirko K. A., Pavlov A. N., Stolyarchuk S. YU., Bukin O. A., Chaykovskiy A. P., Osipenko F. P., Trifonov D. A., “Aerazol'nyye vozmushcheniya stratosfery posle izverzheniya vulkana Grimsvotn (Islandiya, may 2011 g.) po dannym nablyudeniya stantsiy lidarnoy seti stran SNG CIS-LiNet v Minske, Tomske i Vladivostoke”, *Optika atmosfery i okeana*, **26**:7 (2013), 547-552, (in Russian)].

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Маричев В. Н. Исследование изменчивости вертикальной структуры фонового аэрозоля в стратосфере над Томском на основе лидарных наблюдений в 2010-2011 гг. // *Оптика атмосферы и океана*. 2012. Т. 25. №11. С. 976-984.
- [2] Маричев В. Н. Лидарные исследования изменчивости аэрозольного наполнения стратосферы над Томском для фоновых условий // Сборник докладов 19-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Алтай, г. Барнаул, база отдыха «Золотое озеро», 1-6 июля 2013 г. г. Барнаул. 2013. D51–D56.
- [3] Маричев В. Н. Лидарные исследования годовой изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем над Томском в период 2011-13 гг // Сборник докладов 20-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» г. Новосибирск, курорт-отель «Сосновка», 23-27 июня 2014 г. г. Новосибирск. D62-D66.
- [4] Маричев В. Н., Бочковский Д. А. Исследование изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в 2014 г. // Сборник докладов 21-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» г. Томск, 22-26 июня 2015 г. г. Томск. D41-D45.
- [5] Marichev V. N., Bochkosvkii D. A. Studying the variations in background aerosol loading of the stratosphere in 2014. *Proceedings of SPIE*. 2015. 9680.
- [6] Marichev V. N., Bochkosvkii D. A. Investigation of variability of the vertical stratification of background aerosol over Tomsk in 2015 // *Proceedings of SPIE*. 2016. 10035. 100356C-1 - 100356C-5
- [7] Маричев В. Н., Бочковский Д. А. Исследование изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем над Томском в 2016 г. по данным лидарных наблюдений // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2017. №4(20). С. 36-43.
- [8] Бурлаков В. Д., Долгий С. И., Невзоров А. В., Самохвалов И. В., Насонов С. В., Животенюк И. В., Ельников А. В., Назаров Е. В., Плюснин И. И., Шиханцов А. М. Следы извержения вулкана Эйяфьятлайокудль по данным лидарных наблюдений в Томске и Сургуте // *Оптика атмосферы и океана*. 2011. Т. 24. №10. С. 872-879.
- [9] Бурлаков В. Д., Долгий С. И., Невзоров А. В. Лидарные наблюдения аэрозольных возмущений стратосферы над Томском (56,5°с.ш.; 85,0°в.д.) в период вулканической активности 2006-2010 гг. // *Оптика атмосферы и океана*. 2011. Т. 24. №12. С. 1031-1040.
- [10] Долгий С. И., Бурлаков В. Д., Макеев А. П., Невзоров А. В., Шмирко К. А., Павлов А. Н., Столярчук С. Ю., Букин О. А., Чайковский А. П., Осипенко Ф. П., Трифонов Д. А. Аэрозольные возмущения стратосферы после извержения вулкана Гримсвотн (Исландия, май 2011 г.) по данным наблюдений станций лидарной сети стран СНГ CIS-LiNet в Минске, Томске и Владивостоке // *Оптика атмосферы и океана*. 2013. Т. 26. №7. С. 547-552.

Для цитирования: Маричев В. Н., Бочковский Д. А. Годовые и сезонные вариации наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в Западной Сибири // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2019. Т. 29. № 4. С. 149-158. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-149-158

For citation: Marichev V. N., Bochkovsky D. A. Annual and seasonal variations in the filling of the stratosphere with a background aerosol in Western Siberia, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2019, **29**: 4, 149-158. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-149-158

Поступила в редакцию / Original article submitted: 04.09.2019

DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-149-158

MSC 78A10

ANNUAL AND SEASONAL VARIATIONS IN THE FILLING OF THE STRATOSPHERE WITH A BACKGROUND AEROSOL IN WESTERN SIBERIA¹

V. N. Marichev, D. A. Bochkovsky

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (IAO SB RAS), 634055, Tomsk, 1,
Academician Zuev square, Russia

E-mail: marichev@iao.ru, moto@iao.ru

In this paper we analyze the experimental data on variations in vertical-temporal structure of aerosol and its integrated content in the stratosphere, obtained using lidar complex at the Station of High-Altitude Sensing in Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences for 2018; also, we present certain comparisons with previous measurements in 2016-2017. A dataset of 61 total signals, accumulated on separate nights, was used as initial information for analysis. Sensing covered the altitude range from 10 to 50-60 km, the spatial resolution was 192 m, and the total signal was accumulated for 2 hours. As in previous years, the observations recorded the high aerosol content in the lower stratosphere during winter months and almost no aerosol in warm period. In the upper stratosphere (30 – 50 km) background aerosol is absent throughout the year.

Keywords: stratosphere, aerosol, lidar

© Marichev V. N., Bochkovsky D. A., 2019

¹This work was carried out as part of the basic project No. AAAA-A17-117021310145-6 with partial financial support from the RFBR grant No. 19-45-700008 and the president's grant MK-4592.2018.8.