Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2020. Т. 33. № 4. С. 224-230. ISSN 2079-6641

УДК 551.524.7 Научная статья

Лидарные исследования динамики вертикально-временной структуры стратосферного аэрозоля над Томском в 2016-19 гг

В. Н. Маричев[1], Д. А. Бочковский[1], В. В. Бычков[2]

[1] Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1

[2] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: marichev@iao.ru, moto@iao.ru, vasily.v.bychkov@gmail.com

В статье проводится анализ данных внутригодовой изменчивости вертикально-временной структуры аэрозоля и его интегрального наполнения в стратосфере, полученные на лидарном комплексе станции высотного зондирования атмосферы ИОА СО РАН за период 2016-2019 гг. В качестве первичной информации для анализа использовался массив данных из 357 суммарных сигналов, накопленных в отдельные ночи указанных годов. Интервал зондируемых высот простирался от 10 до 50-60 км, пространственное разрешение составляло 192 м., время накопления суммарного сигнала — 2 часа. По результатам наблюдений, как и в предыдущие годы, установлена устойчивая тенденция роста накопления стратосферного аэрозоля с середины года с максимальным содержанием в январе и убыванием до практического отсутствия в июне-июле. В верхней стратосфере (30-50 км) в течение всего года фоновый аэрозоль отсутствует.

Ключевые слова: стратосфера, аэрозоль, лидар.

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-224-230

Поступила в редакцию: 14.10.2020 В окончательном варианте: 14.12.2020

Для цитирования. Маричев В. Н., Бочковский Д. А., Бычков В. В. Лидарные исследования динамики вертикально-временной структуры стратосферного аэрозоля над Томском в 2016-19 гг // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2020. Т. 33. № 4. С. 224-230. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-224-230

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке базового проекта № АААА-А17-117021310145-6 (зарплата авторов публикации, использование материальной базы ИОА СО РАН для выполнения экспериментов), при частичной поддержки гранта РФФИ № 19-45-700008 (оснащение лидара необходимыми комплектующими, обработка и анализ данных).

Введение

В работах [1]-[8] были представлены результаты лидарных наблюдений за изменением вертикальной структуры аэрозоля над Томском в различные месяцы года за период 2010-2016 гг., причем наблюдения за период 2011-2015 гг. были обобщены в работе [9]. Исследования в данном направлении продолжалась и в 2016-2019 гг. Для 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 и его интегральным содержанием в Западной Сибири за достаточно длительный временной интервал.

Используемая для анализа первичная информация состояла из массива данных из 357 суммарных сигналов, накопленных в отдельные ночи со следующим распределением по годам: 2016 — 77, 2017 — 68, 2018 — 79, 2019 — 60. Интервал зондируемых высот простирался от 10 до 50-60 км., пространственное разрешение составляло 192 м. Прием лидарных сигналов велся в режиме счета фотоимпульсов с накоплением по 12×104 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 определения 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 2016-2019 гг.

Из сравнительного анализа с нашими наблюдениями за предыдущие годы [1]-[7], как и за указанный период 2016-2019, подтверждается тенденция максимального аэрозольного наполнения нижней стратосферы в зимний период года с убыванием весной и практическим отсутствием в мае-сентябре.

С октября начинается постепенное возрастание содержания аэрозоля до его максимального значения в 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 и 2019 года, а в феврале 2016 и 2019 года наблюдался протяженный (до 40 км), с монотонным убыванием аэрозольный слой, более интенсивный по сравнению со слоями 2017 -18 годами. Особенно высокое содержание аэрозоля В нижнем слое стратосферы 10 -20 км наблюдалось в декабре 2017 и 2019 г. (R>1.7) г. В период март - ноябрь, как видно из рис.1., вертикальная стратификация аэрозоля стабильна и идентична для указанных годов. А в более короткий теплый сезон май -сентябрь отмечается незначительное содержание аэрозоля.

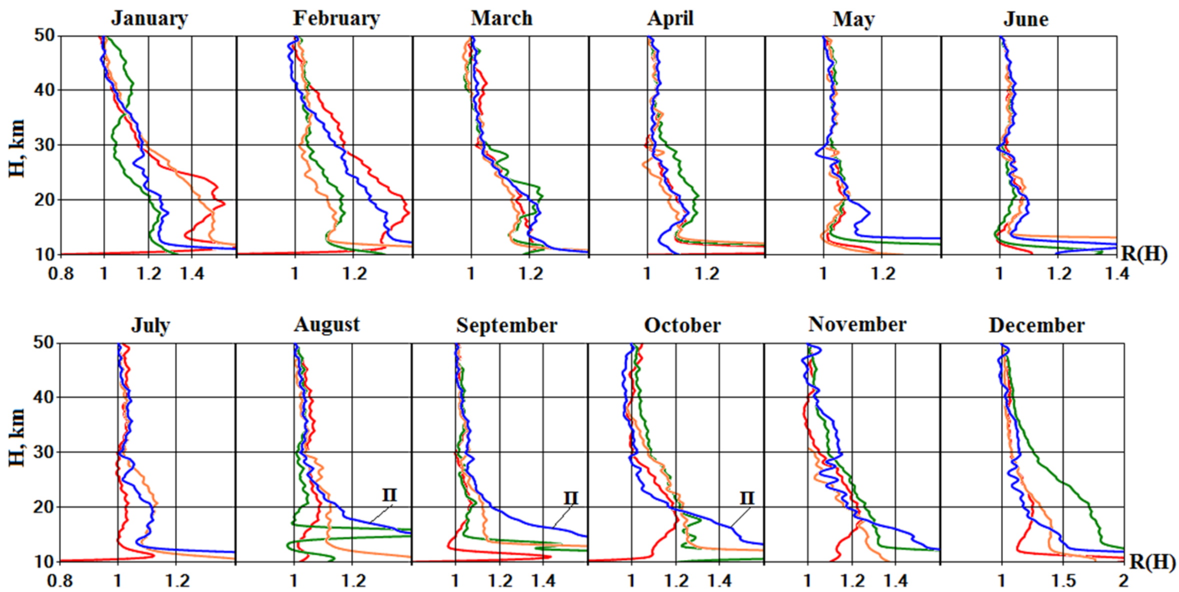

Рис. 1. Среднемесячные профили вертикальной стратификации аэрозоля за 2016-2019 гг., представленные через параметр аэрозольного отношения рассеяния. Кривые красного цвета – 2016 г., зеленого цвета — 2017 г., оранжевого — 2018 г. и синего — 2019 г. П — пожары Сибирь 2019 г.

Исключением является 2019 г., когда в августе - октябре был зарегистрирован резкий рост аэрозольной компоненты в области высот 10-20 км. Как было выяснено, данное событие было связано с пожарами в Сибири, приведшим к заносу образовавшими от них пирокомулятивных облаков к Томску. Высокие значения отношения рассеяния в последующие месяцы ноябрь- декабрь могут быть связаны с суперпозицией остаточного аэрозоля от пирокомулятивных облаков и сезонным ростом аэрозольного наполнения стратосферы. Также высокие значения R над уровнем 10 км практически присутствуют для всех месяцев за указанный период и вызваны рассеянием на цирусных облаках.

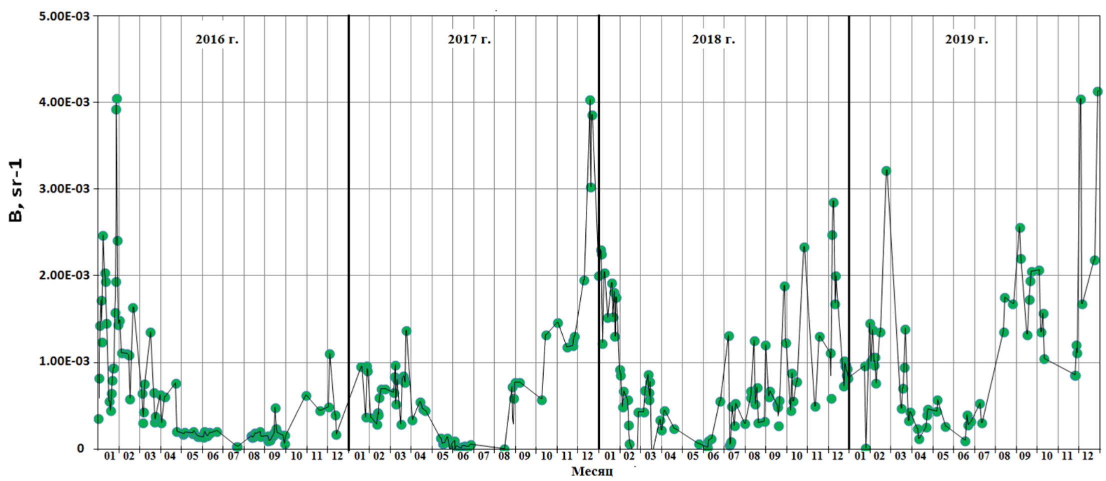

Рис. 2. Временной ход интегрального коэффициента обратного рассеяния над Томском.

Временная динамика полного наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в 2016-19 гг., выраженная через параметр интегрального коэффициента обратного аэрозольного рассеяния, показана на рис. 2.

Из рис. 2 прослеживается как общие, так и отличительные особенности временного поведения аэрозольного наполнения стратосферы для разных лет. Так, в 2016 и 2017 гг. в теплый период года (2016 г. — май-сентябрь, 2017 г. — май-август) отмечалось незначительное содержание аэрозоля. В 2018 г. минимальное содержание регистрировалось за короткий период времени между маем - июнем, а в 2019 г. оно колебалось в пределах 0.2-0.5∗10-3sr-1 за апрель-июнь. В целом по годам максимальные аэрозольные наполнения стратосферы, как видно из рисунка, центрируются относительно января и неравномерно распределены по годам. Наиболее слабое наполнение наблюдалось для зимы 2016/17 по сравнению с остальными годами. Максимальные значения интегрального коэффициента достигали значений 4∗10-3sr-1 в январе 2016 и декабре 2017 и 2019 гг. Самый длительный период заметного аэрозольного наполнения с достаточно резкими колебаниями наблюдался с июля 2018 г. по май 2019 г. Обращает на себя внимание быстрый рост содержания аэрозоля с июня по сентябрь в 2019 г (рис. 3-5).

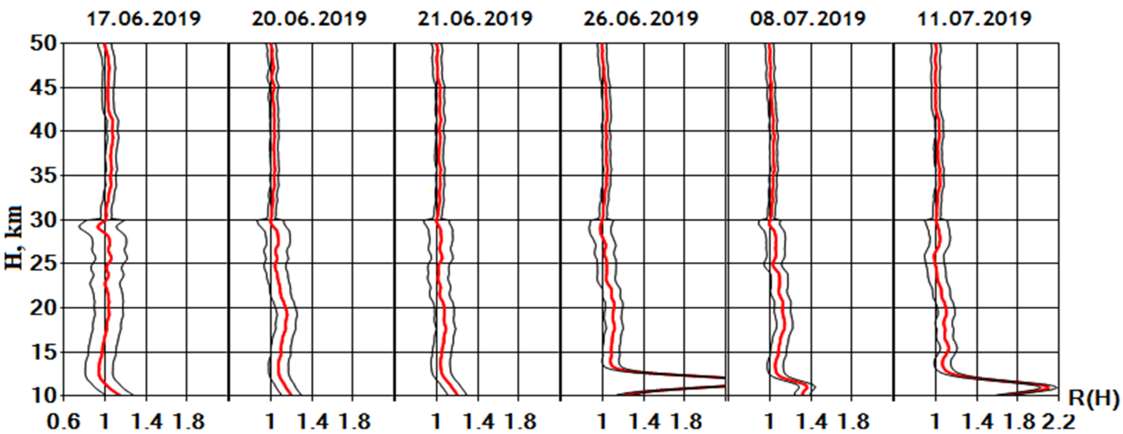

Рис. 3. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в Июне–Июле 2019.

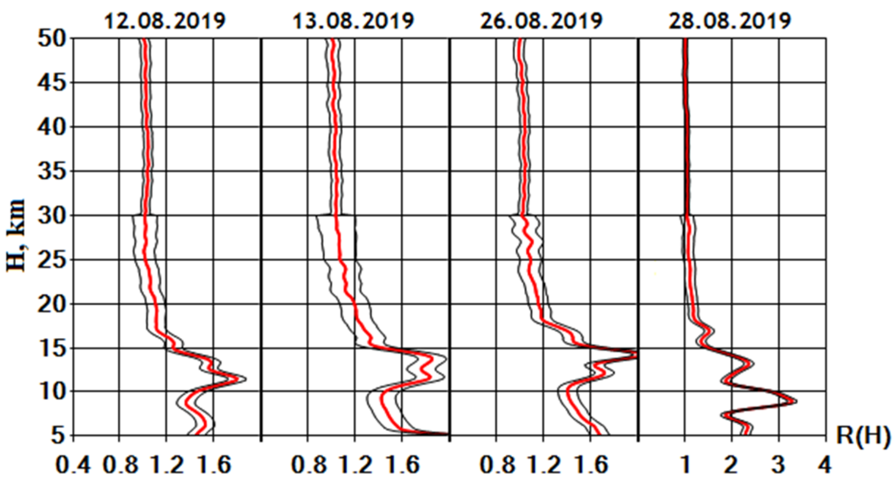

Рис. 4. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в Августе 2019.

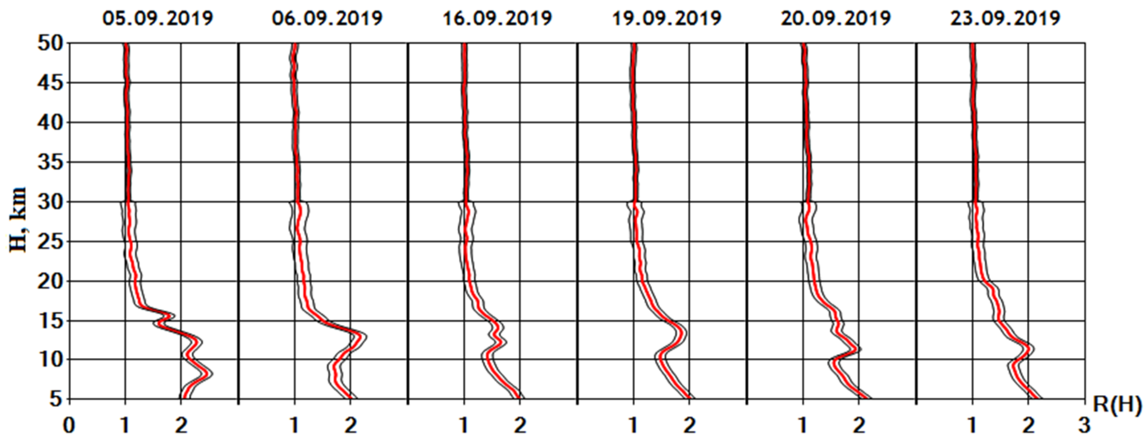

Рис. 5. Динамика вертикальной стратификации аэрозоля в Сентябре 2019.

Как показал анализ обратных траекторий переноса воздушных масс, последний был вызван заносом пирокомулятивных облаков от сильных пожаров в Сибири.

Заключение

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. Тем самым, включая подтверждения данного факта предыдущими многолетними измерениями, выявляется внутригодовая цикличность аэрозольного наполнения стратосферы Западной Сибири.

Конкурирующие интересы. Авторы заявляют, что конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответсвенность. Все авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Список литература/References

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

[2] Маричев В. Н., "Лидарные исследования изменчивости аэрозольного наполнения стратосферы над Томском для фоновых условий", *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы*, Сборник докладов 19-го международного симпозиума. Алтай, г. Барнаул, база отдыха «Золотое озеро», 1-6 июля 2013 г., 2013, D51–D56. [Marichev V. N., "Lidarnyye issledovaniya izmenchivosti aerozol'nogo napolneniya stratosfery nad Tomskom dlya fonovykh usloviy", *Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery*, Sbornik dokladov 19-go mezhdunarodnogo simpoziuma. Altay, g. Barnaul, baza otdykha «Zolotoye ozero», 1-6 iyulya 2013 g., 2013, D51–D56 (in Russian)].

[3] Маричев В. Н., "Лидарные исследования годовой изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем над Томском в период 2011-13 гг", *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы*, Сборник докладов 20-го международного симпозиума, г.

Новосибирск, курорт-отель «Сосновка», 23-27 июня 2014 г, D62-D66. [Marichev V. N., “Lidarnyye issledovaniya godovoy izmenchivosti napolneniya stratosfery fonovym aerozolem nad Tomskom v period 2011-13 gg”, *Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery*, Sbornik dokladov 20-go mezhdunarodnogo simpoziuma, g. Novosibirsk, kurort-otel’ «Sosnovka», 23-27 iyunya 2014 g, D62-D66 (in Russian)].

[4] Маричев В. Н., Бочковский Д. А., “Исследование изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в 2014 г”, *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы*, Сборник докладов 21-го международного симпозиума, г. Томск, 22-26 июня 2015 г, 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”, 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 (in Russian)].

[8] Баженов О. Е., Бурлаков В. Д., Гришаев М. В., Гриднев Ю. В., Долгий С. И., Макеев А. П., Невзоров А. В., Сальникова Н. С., Трифонов Д. А., Аршинов М. Ю., Ивлев Г. А., “Сравнение результатов дистанционных спектрофотометрических и лидарных измерений O3, NO2, температуры и стратосферного аэрозоля с данными спутниковых и радиозондовых измерений.”, *Оптика атмосферы и океана*, **29**:3 (2016), 216-223. [Bazhenov O. Ye., Burlakov V. D., Grishayev M. V., Gridnev YU. V., Dolgiy S. I., Makeyev A. P., Nevzorov A. V., Sal’nikova N. S., Trifonov D. A., Arshinov M. YU., Ivlev G. A., “Sravneniye rezul’tatov distantsionnykh spektrofotometricheskikh i lidarnykh izmereniy O3, NO2, temperatury i stratosfernogo aerozolya s dannymi sputnikovykh i radiozondovykh izmereniy”, *Optika atmosfery i okeana*, **29**:3 (2016), 216-223 (in Russian)].

[9] Маричев В. Н., Бочковский Д. А., *Результаты исследования внутригодовой изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем над Томском по данным лидарных измерений в 2011–2015 гг.*, **30**, Оптика атмосферы и океана, 2017. [Marichev V. N., Bochkovskiy D. A., *Rezul’taty issledovaniya vnutrigodovoy izmenchivosti napolneniya stratosfery fonovym aerozolem nad Tomskom po dannym lidarnykh izmereniy v 2011–2015 gg*, **30**, Optika atmosfery i okeana, 2017 (in Russian)].

MSC 86A10 Research Article

Study of variability of the background aerosol content in the stratosphere over Tomsk by lidar measurement data in 2016-2019

V. N. Marichev[1], D. A. Bochkovsky[1], V. V. Bychkov[2]

[1] V. E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (IAO SB RAS), 634055, Tomsk, 1, Academician Zuev square
[2] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7
E-mail: marichev@iao.ru, moto@iao.ru, vasily.v.bychkov@gmail.com

The data of annual variability of the aerosol vertical-temporal structure and total content in the stratosphere, obtained at the lidar complex of the Siberian Lidar Station of the IOA SB RAS in 2016 - 2019. A data array of 357 total signals detected in individual nights of these years was used as the initial information for analysis. The range of the heights of sounding was from 10 to 50-60 km, the spatial resolution was 192 m, the accumulation time of the total signal was 2 hours. According to the results of observations, as in previous years, a steady increase trend in the accumulation of stratospheric aerosol was observed from the middle of the year with a maximum content in January and a decrease to a practical absence in June-July. The background aerosol is absent in the upper stratosphere (30–50 km) throughout the year.

Key words: stratosphere, aerosol, lidar.

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-224-230

Original article submitted: 14.10.2020 Revision submitted: 14.12.2020

For citation. Marichev V. N., Bochkovsky D. A., Bychkov V. V. Study of variability of the background aerosol content in the stratosphere over Tomsk by lidar measurement data in 2016-2019. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2020, **33**: 4, 224-230. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-224-230

Competing interests. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

Funding. This work was carried out with the financial support of the basic project No. AAAA-A17-117021310145-6 (salary of the authors of the publication, the use of the material base of the IAO SB RAS for performing experiments), with partial support of the RFBR grant No. 19-45-700008 (equipping the lidar with the necessary components, processing and data analysis).