

УДК 551.510.42

Подспутниковые аэрологические технологии для валидации дистанционных лидарных наблюдений космического базирования

Балугин Николай Владимирович¹

horst2007@yandex.ru

Юшков Владимир Александрович¹

v_yushkov@mail.ru

Хайкин Сергей Михайлович²

sehamic@yandex.ru

¹ Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, Долгопрудный, Россия² LATMOS — Laboratoire Atmosphère Observations Spatiales, Версаль, Франция

Аннотация. Представлены результаты подспутникового зондирования стратосферного аэрозоля с применением аэрологических технологий с использованием двухволнового аэрозольного зонда обратного рассеяния (АЗОР). Методика валидации включала проведение аэрологических выпусков прибора АЗОР в даты и сроки, максимально приближенные к пролету спутника над местом выпуска зонда. Было проведено пять подспутниковых экспериментов в средних широтах северного полушария с участием АЗОР. Измерения зондом проводились на длинах волн 528 и 940 нм, полученные значения коэффициентов обратного аэрозольного рассеяния пересчитывались для рабочей длины волны зондирования спутникового прибора (355 нм) с помощью коэффициента Ангстрема, который определялся в каждом полете по результатам измерений АЗОР. Приведены данные валидационных экспериментов.

Ключевые слова: подспутниковые эксперименты, аэрологический аэрозольный зонд

Спутниковые технологии в настоящее время являются наиболее распространенными для дистанционного зондирования Земли. Однако для валидации спутниковых приборов необходимо наличие данных наземных или аэрологических подспутниковых измерений.

Цель экспериментальной работы — валидация атмосферного лидара (ATLID) спутниковой системы EarthCARE с помощью (АЗОР) [1]. Выпуск АЗОР на аэрологической оболочке производился в точке максимально приближенной к траектории полета спутника. ATLID (атмосферный лидар) измерял вертикальные профили физических параметров облаков и аэрозолей (высоту, оптическую толщину, коэффициент обратного рассеяния и коэффициент деполяризации) в сочетании с другими приборами [2]. Работая в УФ диапазоне с длиной волны 355 нм, ATLID регистрирует атмосферные эхосигналы с вертикальным разрешением около 100 м от поверхности земли до высоты 40 км.

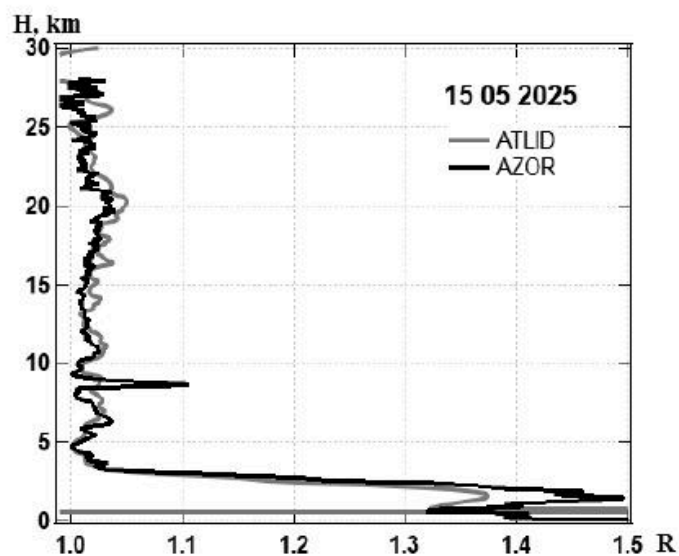
Принцип действия АЗОР также основан на измерении обратно рассеянного света от встроенных источников излучения (светодиоды на 528 и 940 нм). Светорассеивающий объем, расположенный на близком расстоянии (~0,2–5,0 м) от источника излучения, формируется линзовой системой фотоприемников (фо-

тодиодов) и не превышает $0,1 \text{ м}^3$. Важно, что этот объем остается неизменным в процессе полета, а на таких малых линейных расстояниях оптические сигналы для выбранных длин волн практически не ослабляются.

Давление и температура атмосферного воздуха в этом объеме измеряются термистором и датчиком давления, а координаты АЗОР в пространстве определяются с помощью встраиваемого модуля GPS/ГЛОНАСС. Система термостатирования обеспечивает температурный режим бортовых приборов при температуре $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение всего полета. Оптические оси фотоприемника и излучателей расположены под углом 5° , что позволяет при применении синхронного детектирования сигнала с двойным накоплением получить значение ОСШ на высоте 30 км не хуже 50. При скорости подъема аэрологической оболочки 5 м/с и длительности цикла измерений 3 с вертикальное разрешение получаемых данных не превышает 15 метров.

Для анализа результатов подспутникового эксперимента выбран параметр отношения обратного рассеяния $R = 1 + \beta_a(\lambda, H) / \beta_m(\lambda, H)$, где β_a и β_m — коэффициенты аэрозольного и молекулярного рассеяния на высоте H , соответственно. По значению $R(\lambda, H)$ определяется вклад аэрозольного рассеяния по отношению к молекулярному. $R(\lambda, H) = 1$ — означает отсутствие на данных высотах аэрозоля.

На рисунке представлены полученные вертикальные профили значения R для $\lambda = 355 \text{ нм}$, свидетельствующие об успешной процедуре проведенной валидации.



Профили отношения обратного рассеяния на длине волны 355 нм, полученные спутниковым лидаром ATLID(зеленый) и АЗОР (черный)

Так как измерения на спутниковом и аэрологическом приборах осуществляются на разных длинах волн, то для сопоставления их результатов производился расчет коэффициента Ангстрема ($AE = 4 - \log[(R(\lambda_1) - 1)/(R(\lambda_2) - 1)] /$

$/ \log(\lambda_1/\lambda_2)$ по данным АЗОР, и далее данные АЗОР пересчитываются на длину волны 355 нм по формуле $\beta_a(\lambda_2, H)/\beta_a(\lambda_1, H) = (\lambda_2/\lambda_1)^{-AE(H)}$.

Список источников

- [1] Балугин Н.В., Фомин Б.А., Юшков В.А. Оптический зонд обратного рассеяния для баллонных аэрологических измерений. *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*, 2022, т. 58, № 3, с. 365–372.
<https://doi.org/10.31857/S0002351522030026>
- [2] Khaykin S. Global transport of stratospheric aerosol produced by Ruang eruption from EarthCARE ATLID, limb-viewing satellites and ground-based lidar observations. *Preprint egusphere-2025-4377*, 2025. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-4377>