



Возможности исследования аэрозольного состава атмосферы с помощью аэрозольного зонда обратного рассеяния

***Балугин Н.В.¹, Юшков В.А.¹, Фомин Б.А.¹, Суханов А.Я.²,
Маричев В.Н.², Бочковский Д.А.²***

1 Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Россия

2 Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

***Исследование выполнено за счет гранта Российского научного
фонда № 23-27-00057, <https://rscf.ru/project/23-27-00057/>***

*V Всероссийская конференция с международным участием Турбулентность,
динамика атмосферы и климата, посвященная памяти академика Александра
Михайловича Обухова Москва, 19 — 21 ноября 2024 года*



Цели работы:

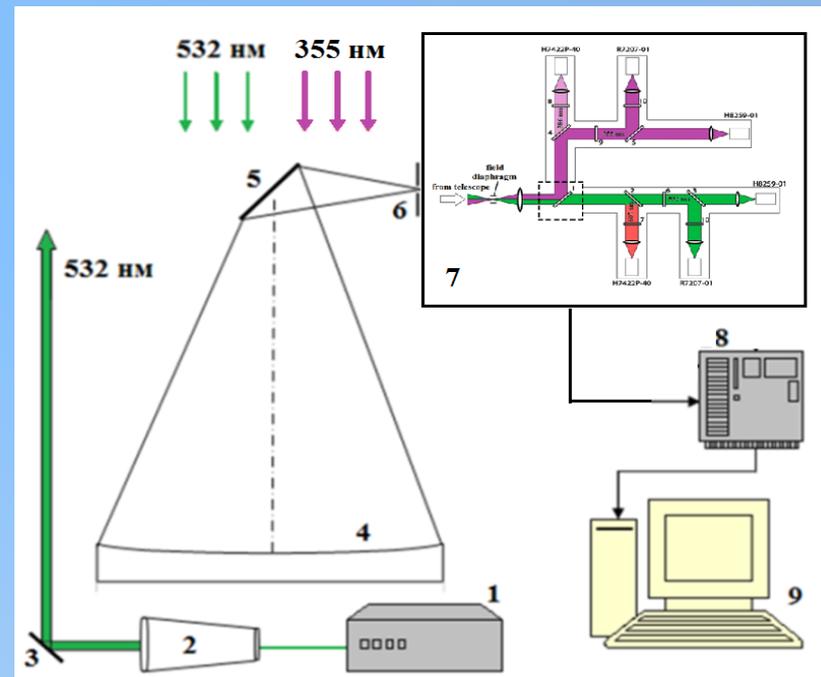
- **Получение** вертикальных профилей отношения обратного рассеяния на длинах волн 355 и 532 нм (лидар) и 470, 528, 850, 940 нм (зонд).
- **Восстановление** микрофизических характеристик стратосферного аэрозоля по коэффициентам обратного аэрозольного рассеяния.
- **Сравнение** технологий дистанционного и прямого метода определения параметров атмосферного аэрозоля.



Технические характеристики лидара



Передатчик (излучатель)	Лазер LS-2147N/3-UV3 на АИГ:Nd ³⁺
Длины волн излучения	532 и 355 нм
Энергия импульса	700 и 300 мДж
Частота генерации	10 Гц
Каналы приема: Упругого рассеяния: Рамановского рассеяния:	532 и 355 нм 607 и 386 нм
Диапазон высот зондирования	10 ÷ 70 км
Вертикальное разрешение	192 м





Аэрозольный зонд обратного рассеяния (АЗОР)

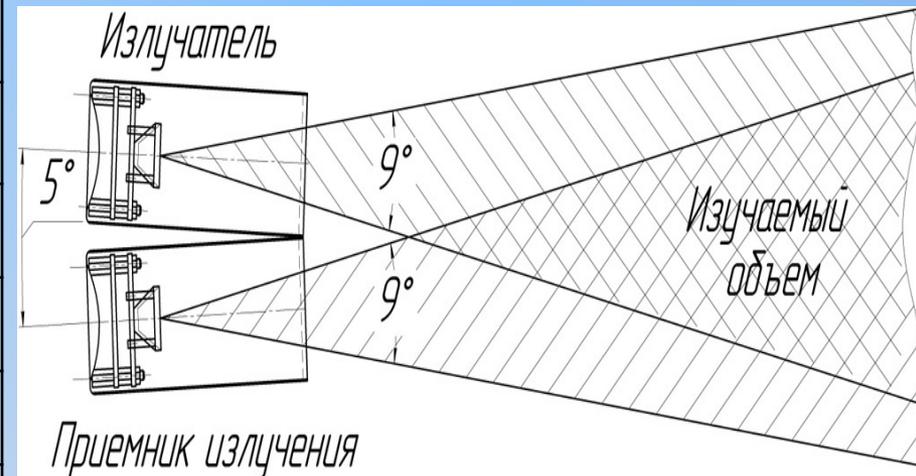


Назначение:

- измерение вертикально профиля отношения обратного рассеяния;
- идентификация слоистой структуры аэрозольной компоненты;
- мониторинг аэрозольного наполнения атмосферы.



Длины волн излучения	470 нм, 528 нм , 850 нм, 940 нм
Светорассеивающий объём	0,1 м ³
Временное разрешение	3 с
Габаритные размеры	280×210×250 мм
Вес зонда с батареями	1000 г
Мощность излучения	1 Вт
Диапазон высот	0 -30 км





Отношение обратного рассеяния

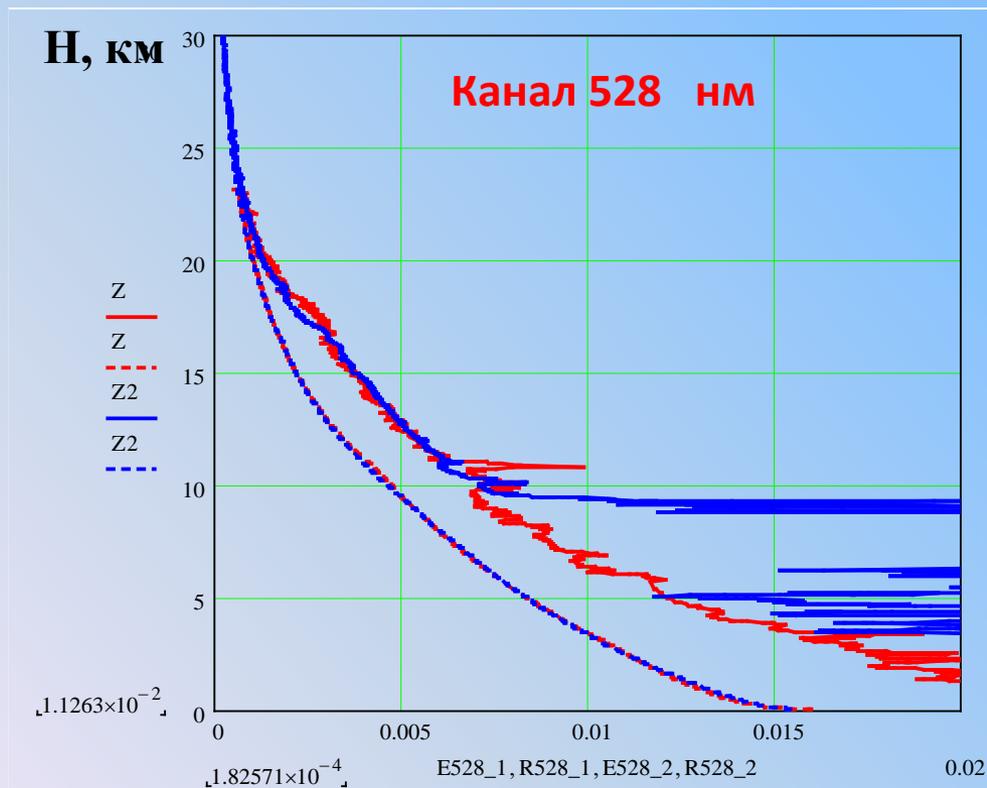


$$R(\lambda, H) = \frac{\beta(\lambda, H)}{\beta_M(\lambda, H)} = \frac{\beta_M(\lambda, H) + \beta_A(\lambda, H)}{\beta_M(\lambda, H)} = 1 + \frac{\beta_A(\lambda, H)}{\beta_M(\lambda, H)}$$

$\beta(\lambda, H)$ - коэффициент полного обратного рассеяния

$\beta_M(\lambda, H)$ - коэффициент молекулярного обратного рассеяния

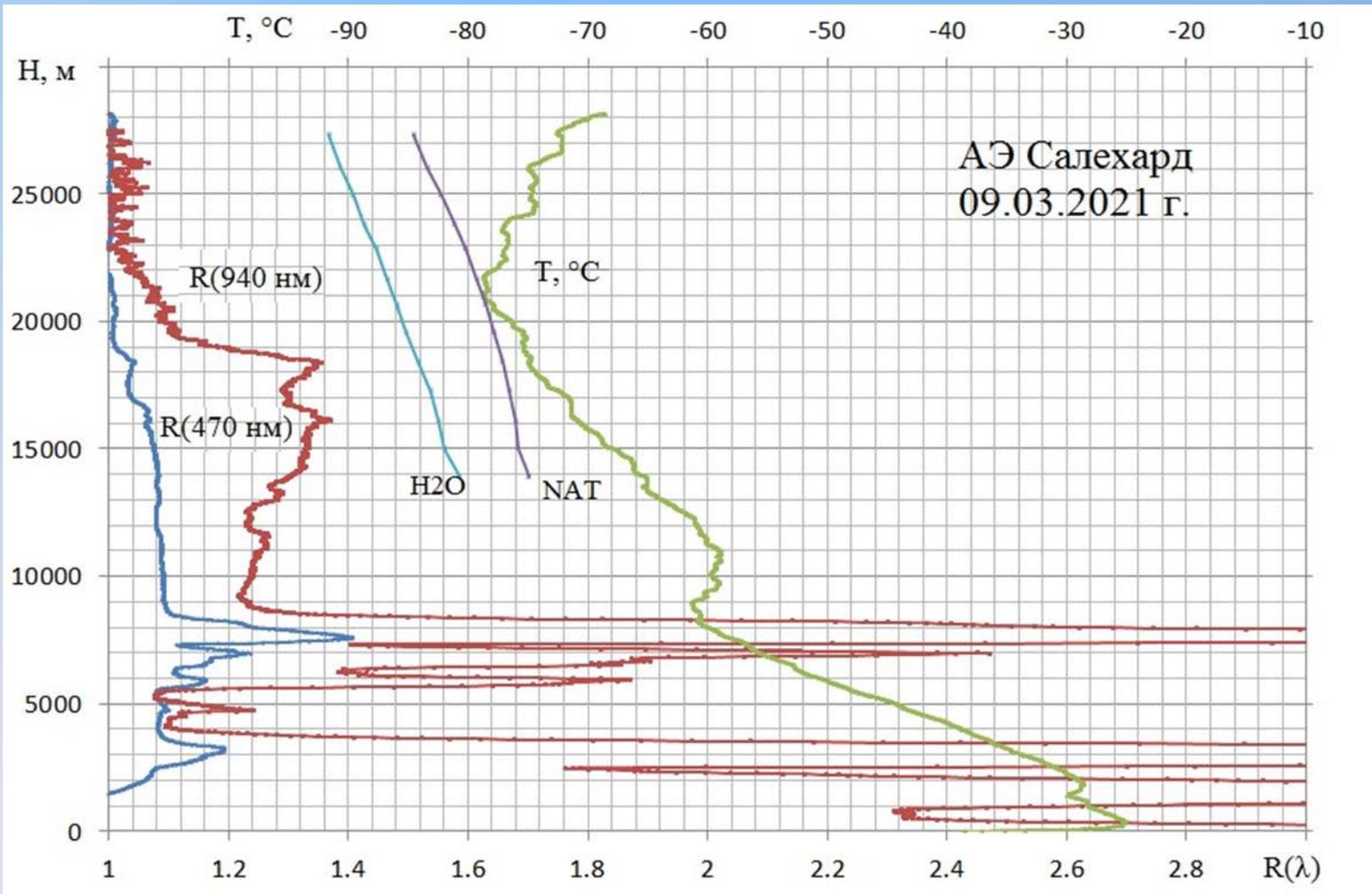
$\beta_A(\lambda, H)$ - коэффициент аэрозольного обратного рассеяния



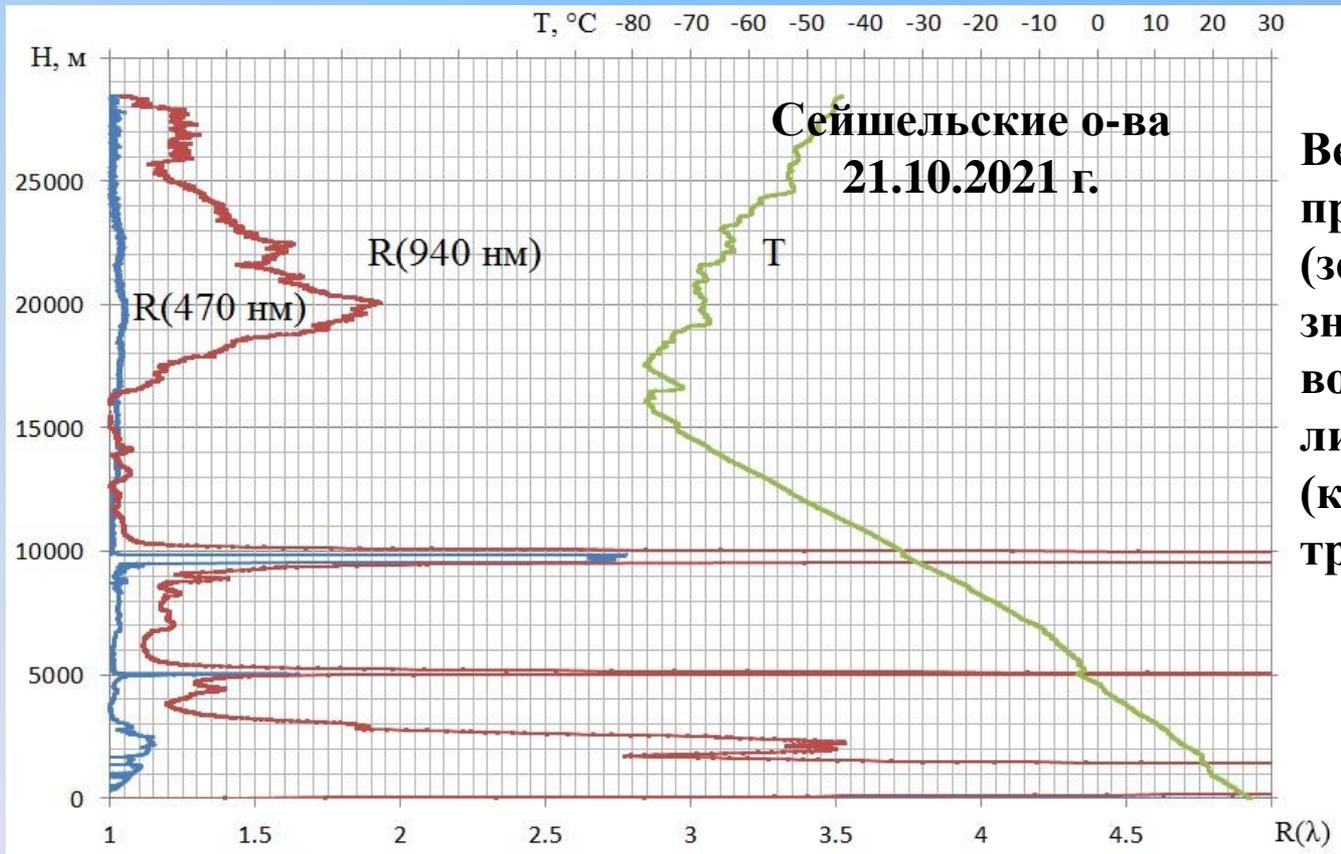
Салехард

20.02.2023г

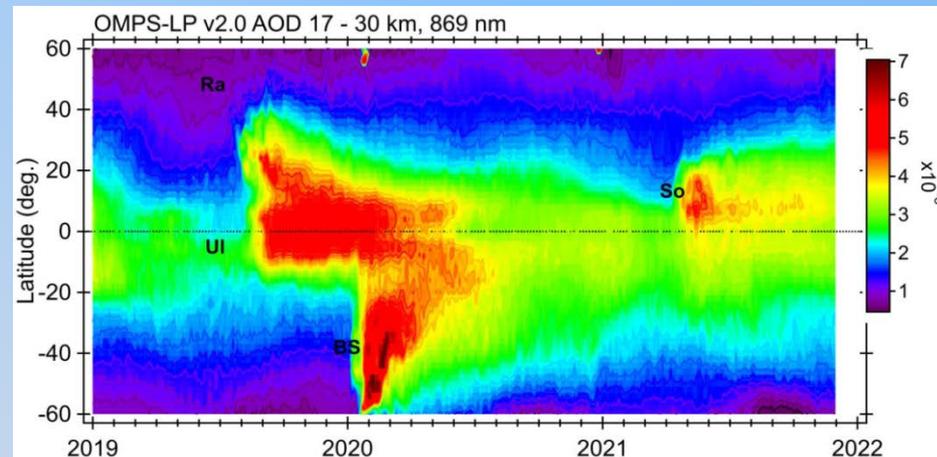
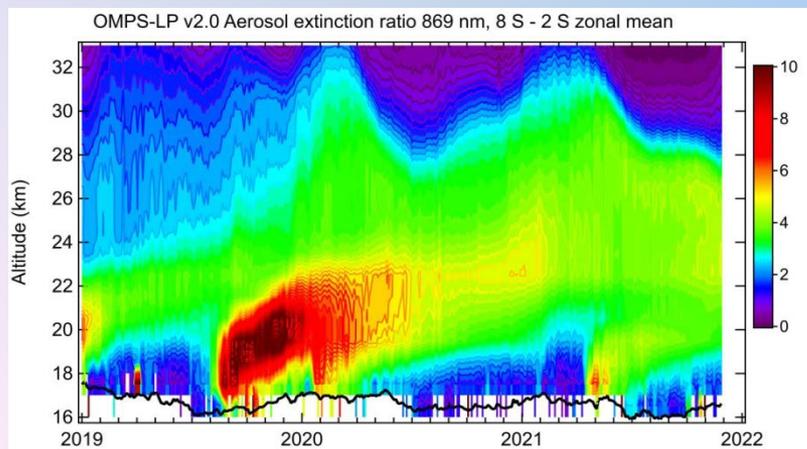
21.02.2023 г

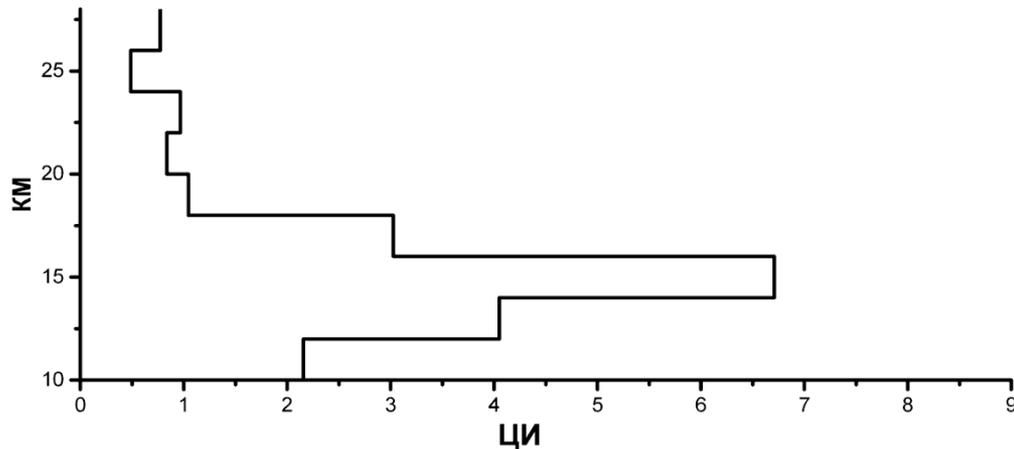
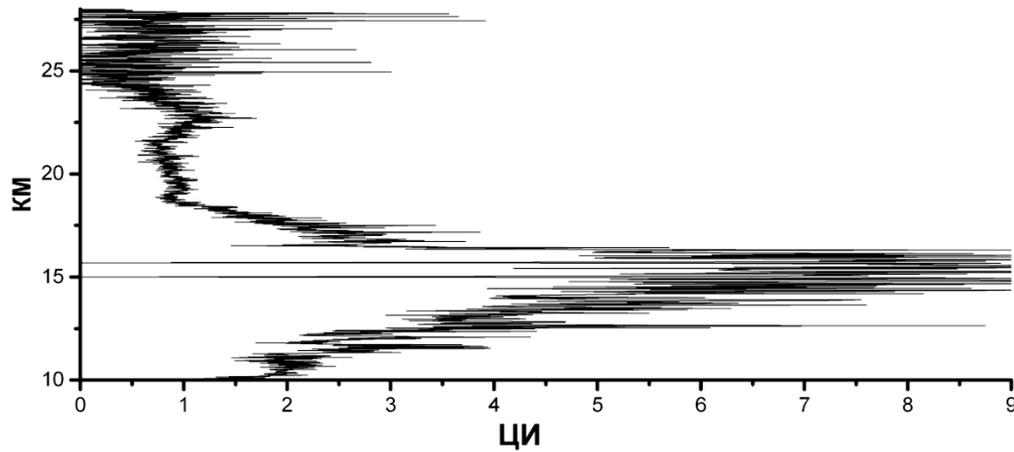


Вертикальные профили температуры (зеленая линия), значения R на длине волны 470 нм (синяя линия) и 940 нм (красная линия), а также значения пороговых температур для образования полярных стратосферных облаков 1 типа (NAT) и 2 типа (H₂O)



**Вертикальные
профили температуры
(зеленая линия),
значения R на длине
волны 470 нм (синяя
линия) и 940 нм
(красная линия) для
тропиков**





Наличие возмущенного состава стратосферного аэрозоля привело к существенным изменениям (в 2-3 раза) в радиационном нагреве

ЦИ - профиль отношения аэрозольных вкладов в измерения на 470 нм к измерениям на 940 нм

$$\text{ЦИ} = \frac{R(940, H) - 1}{R(470, H) - 1}$$

Для получения сведений об оптических свойствах аэрозоля из измерений коэффициента обратного рассеяния совершенно необходима информация о типе аэрозоля. Такая информация содержится в ЦИ. Следует лишь сопоставить экспериментальные и теоретические значения ЦИ, как рассматривалось выше для слоя 14-16 км.

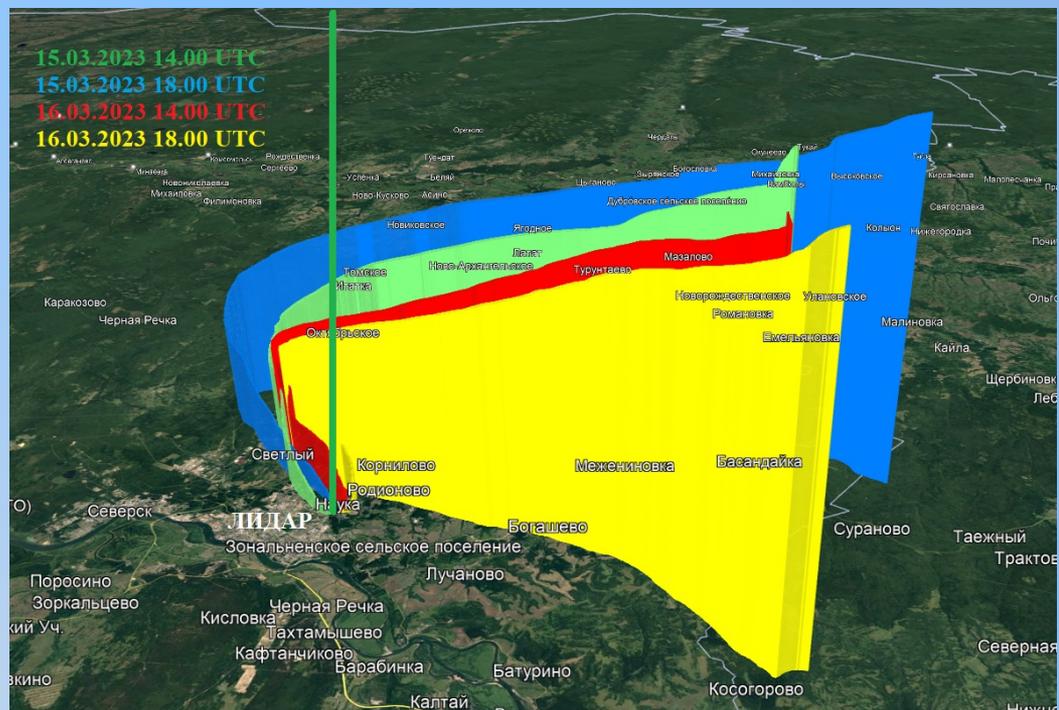
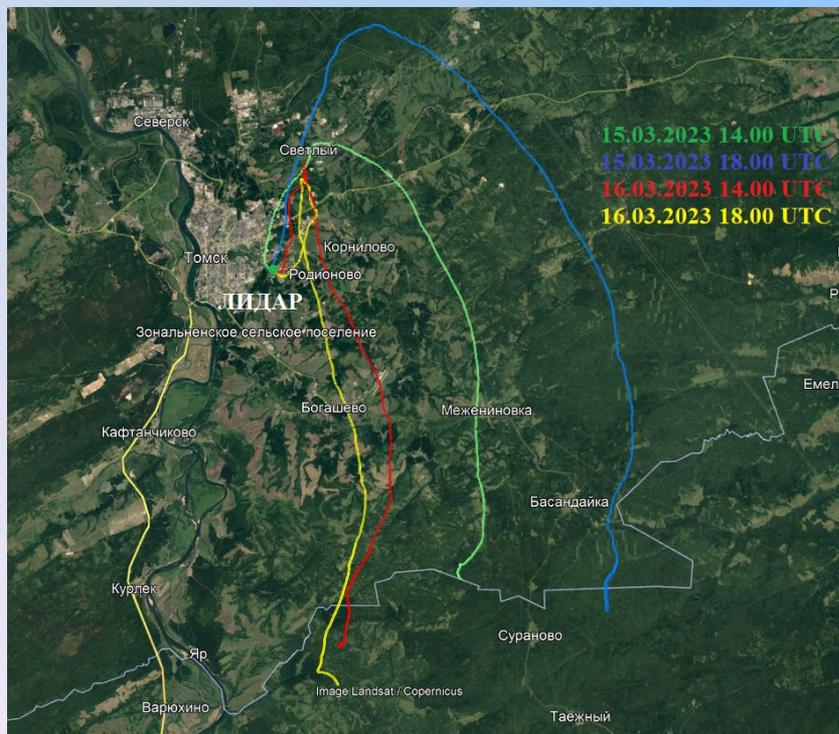


Цель лидарно-зондового эксперимента:

- **Сравнение** технологий дистанционного и прямого метода определения параметров атмосферного аэрозоля и термического режима стратосферы.
- **Получение** вертикальных профилей отношения обратного рассеяния на длинах волн 355 и **532** нм (лидар) и 470, **528**, 850, 940 нм (зонд).
- **Развитие методов и технических средств для реализации многоволнового зондирования**



Траекторные данные выпусков 15-16.03.2023 г. (г. Томск)

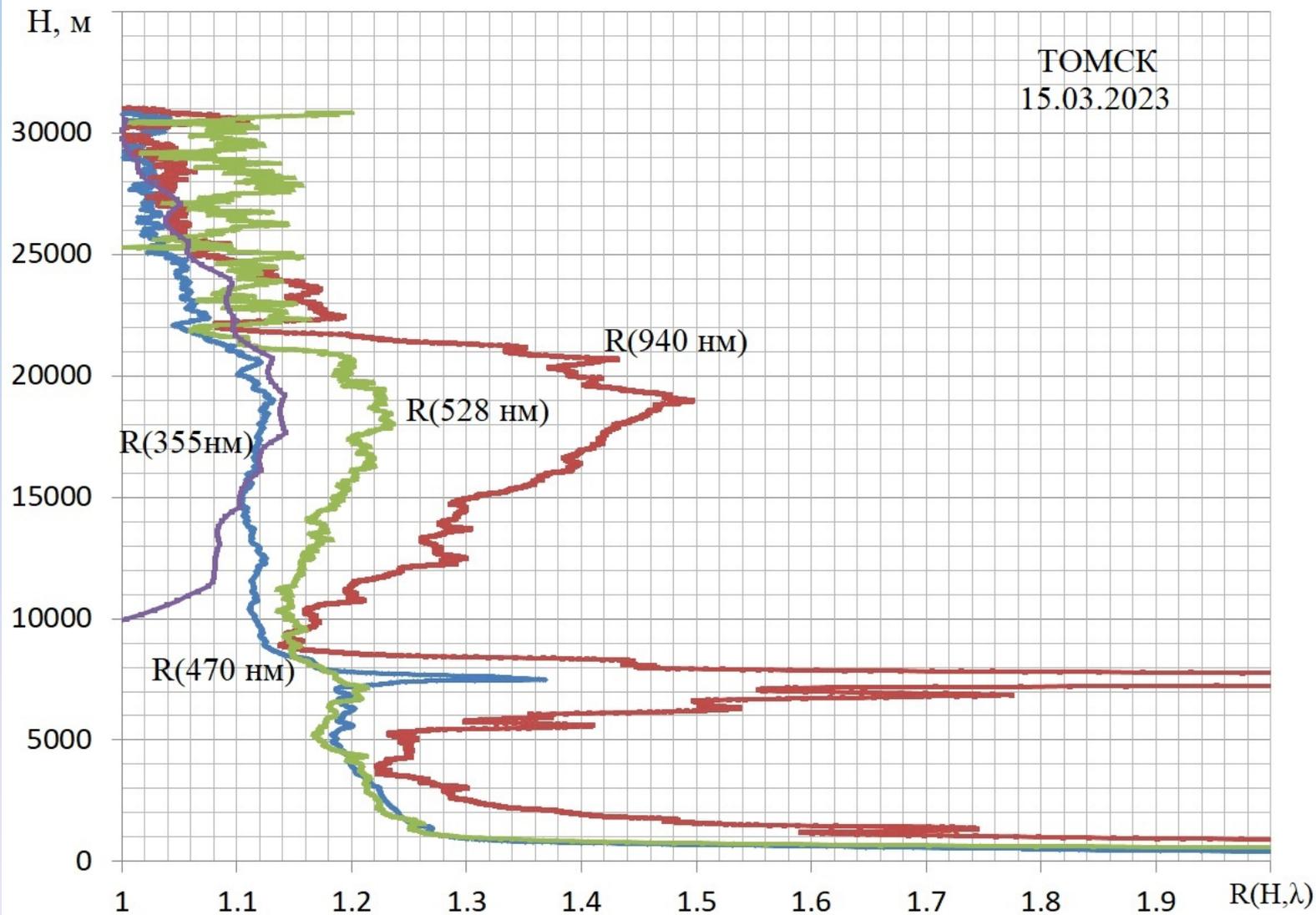


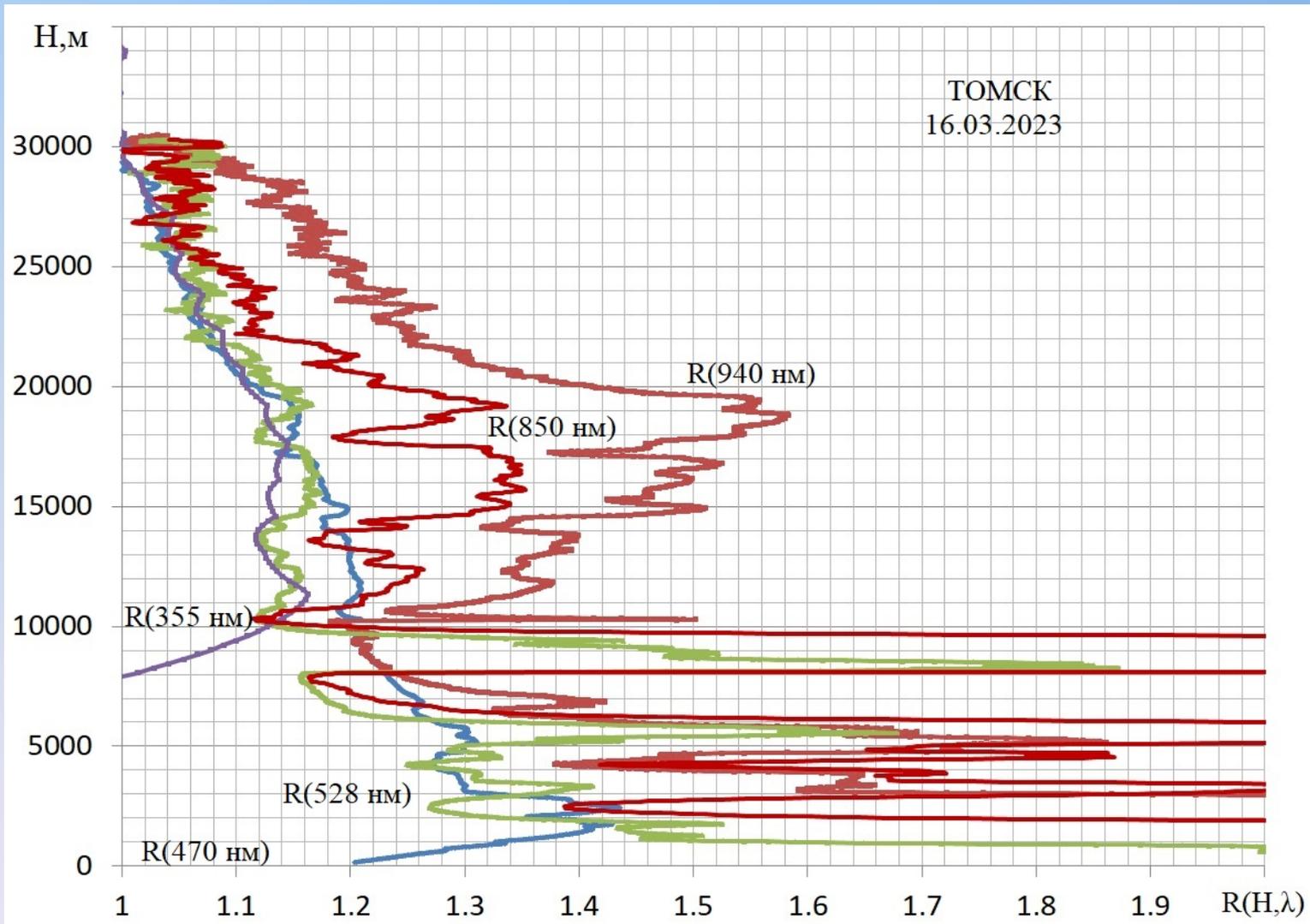
Высота подъёма 30-31 км

Максимальное удаление от точки выпуска 43 км



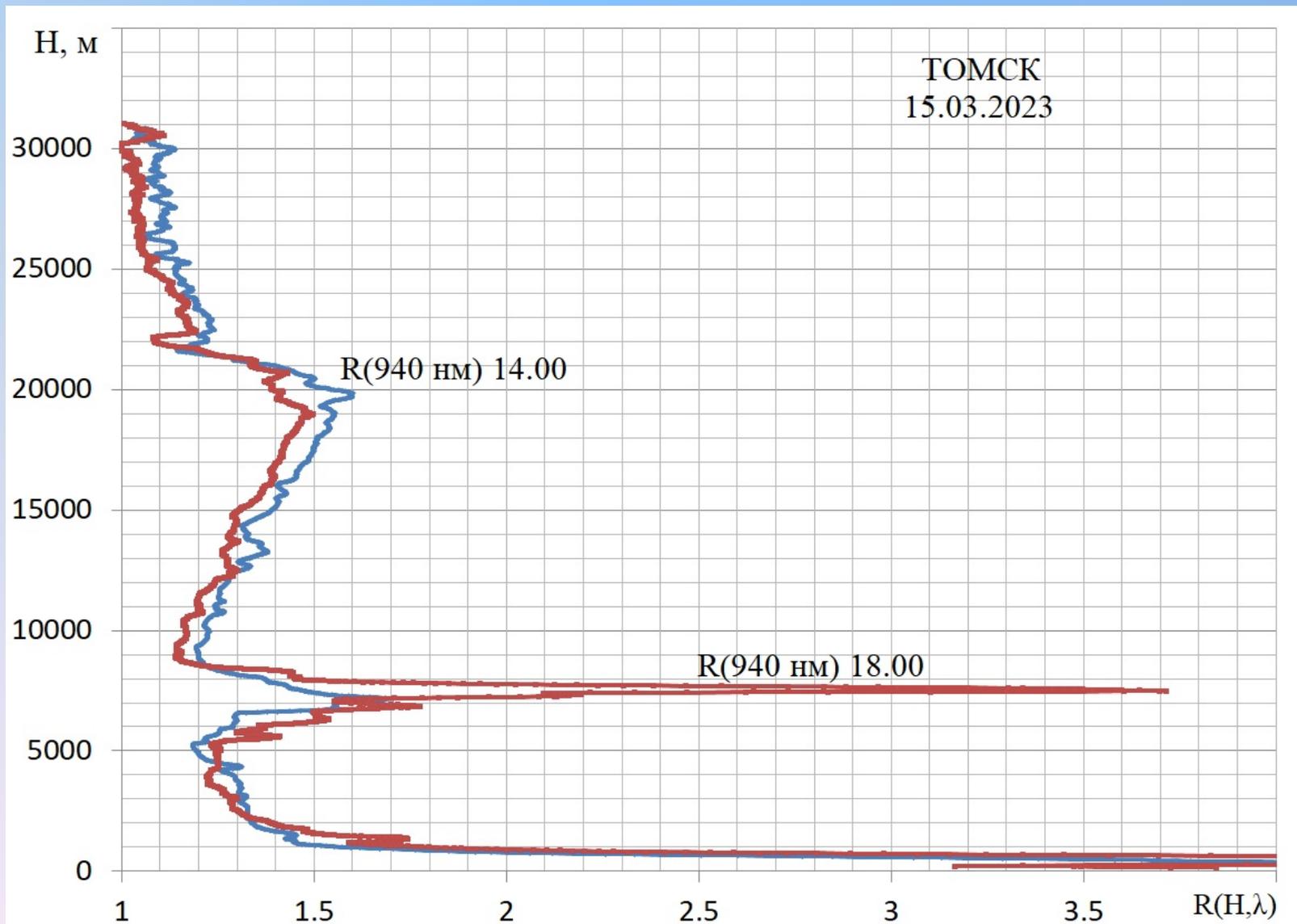
Сводные результаты





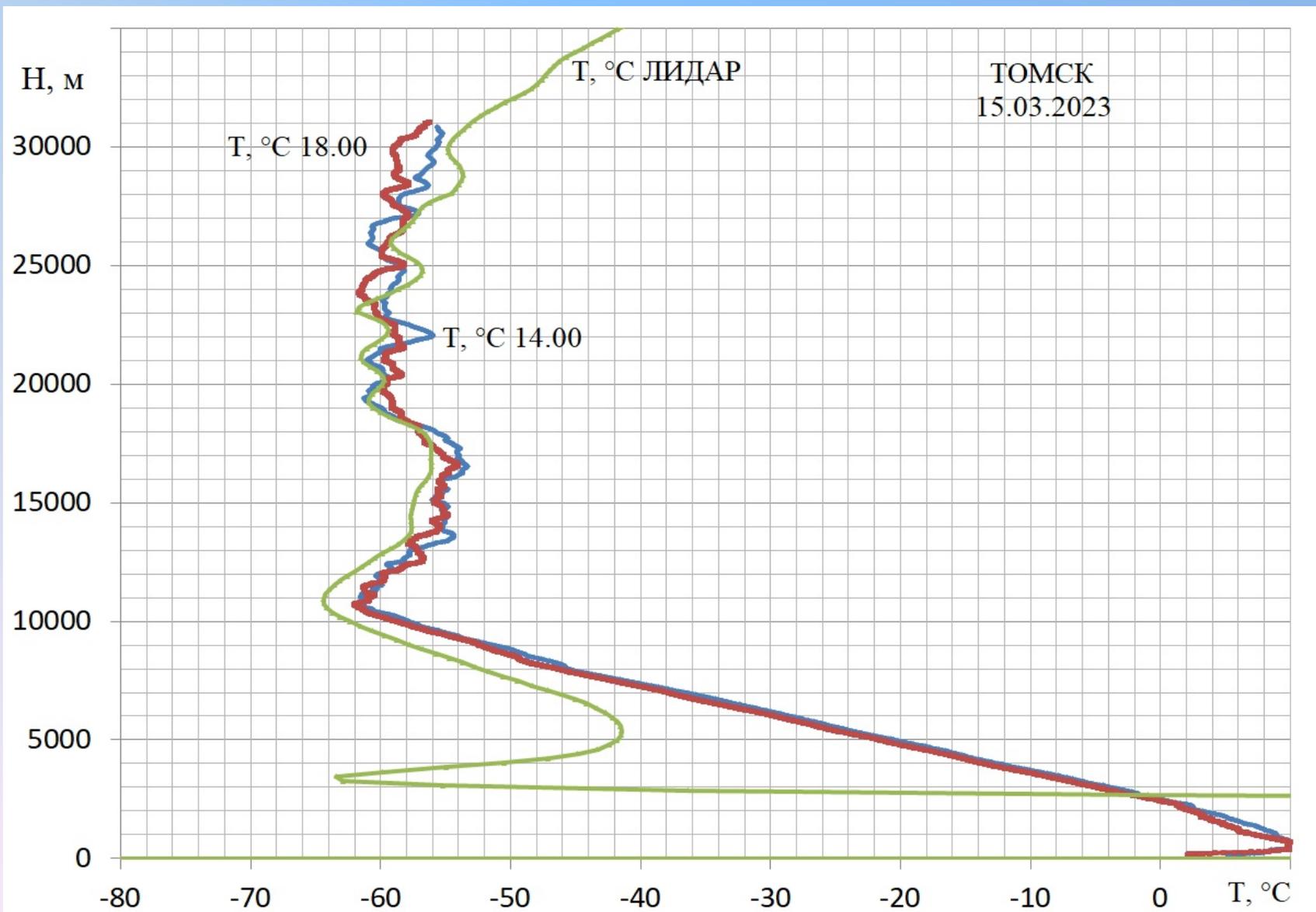


Сравнение данных о R за 4 часа



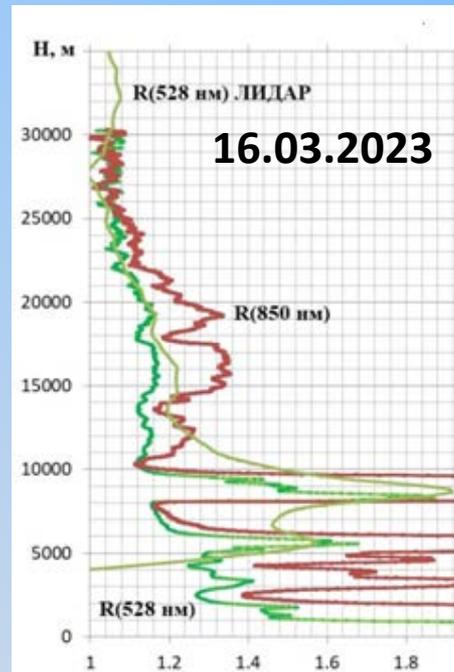
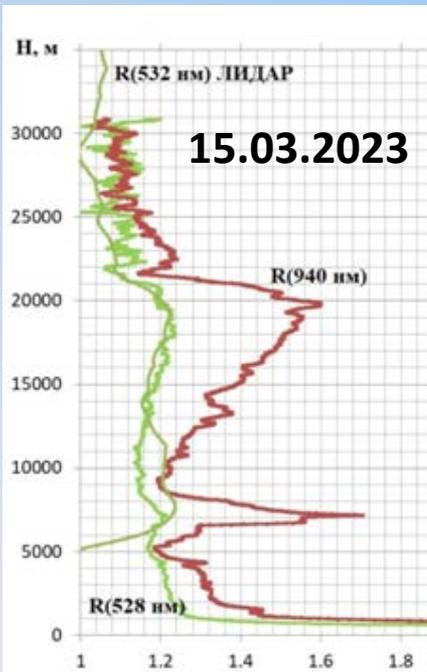
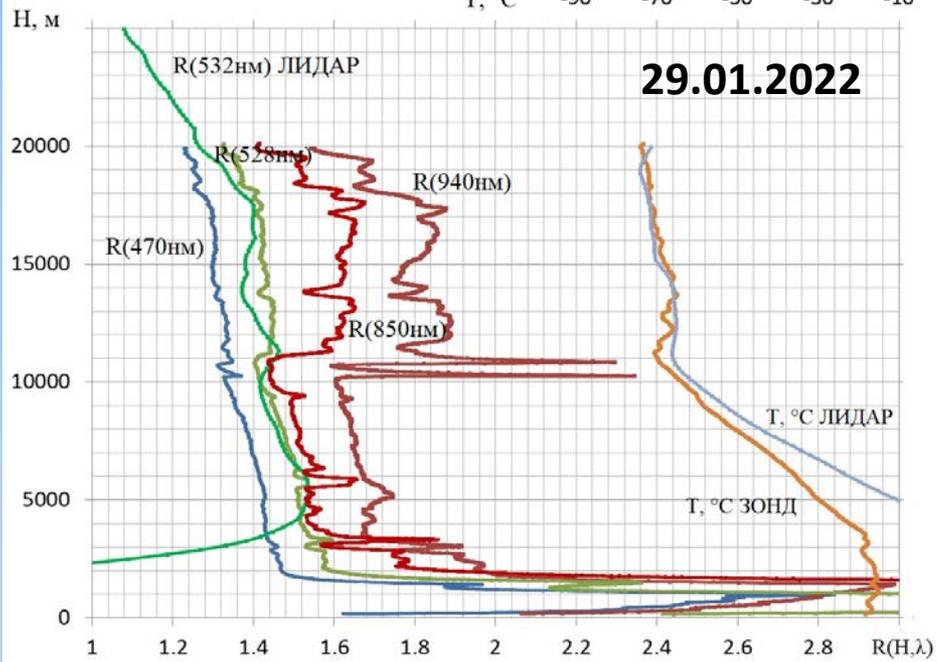


Температура: лидар и АЗОР





T, °C -90 -70 -50 -30 -10





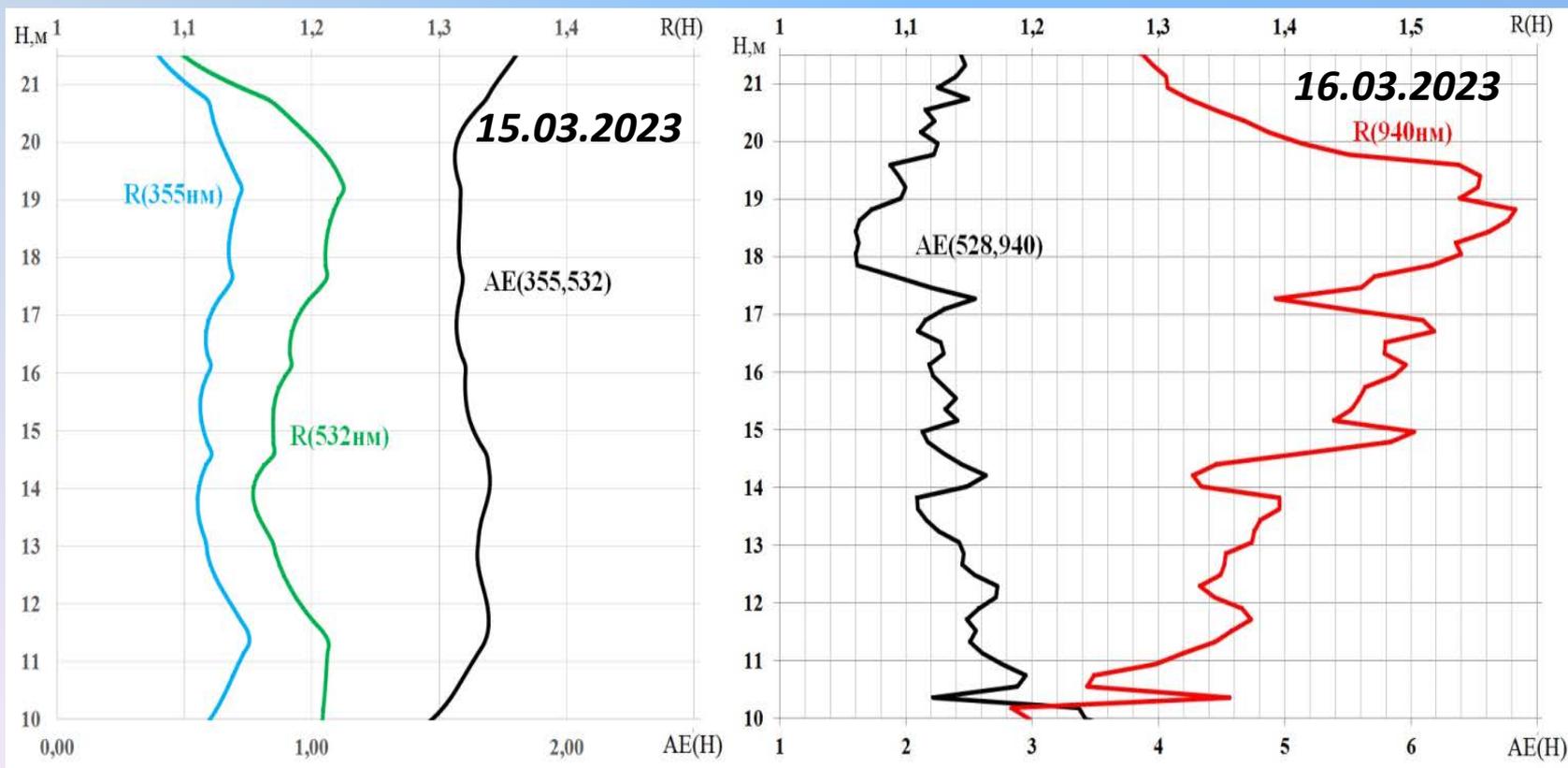
Коэффициент Ангретрема



$$\frac{\beta_{\text{aer}}(\lambda_2, H)}{\beta_{\text{aer}}(\lambda_1, H)} = (\lambda_2/\lambda_1)^{-\text{AE}(H)}$$

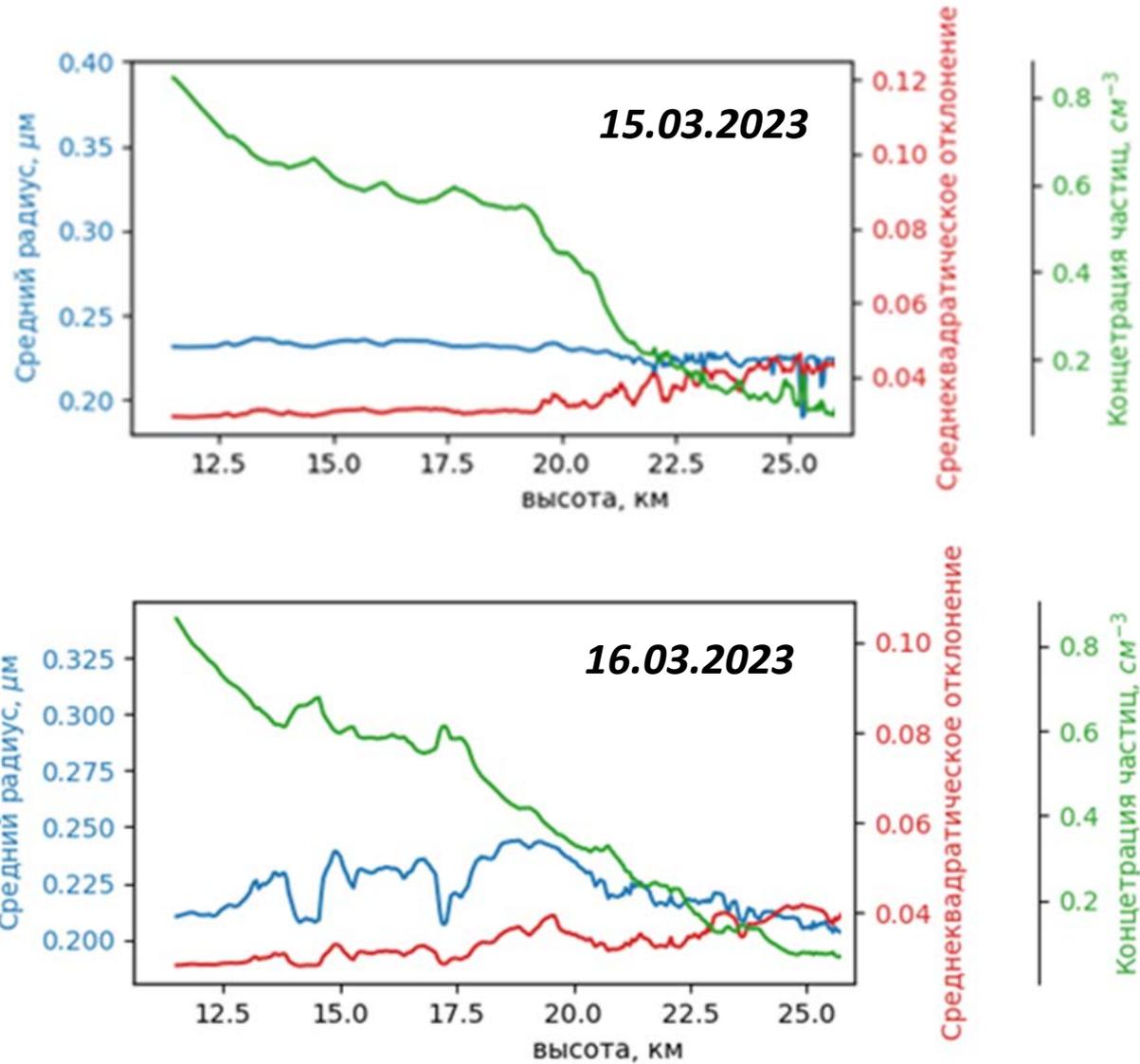
С учетом зависимости коэффициента обратного молекулярного рассеяния как λ^{-4}

$$\text{AE} = 4 - \log [(R(\lambda_1) - 1)/(R(\lambda_2) - 1)] / \log (\lambda_1/\lambda_2)$$



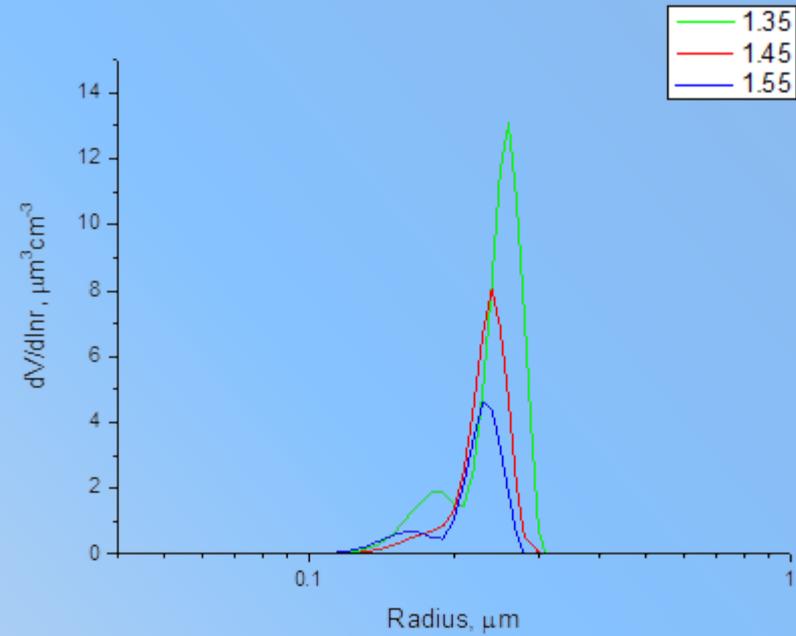
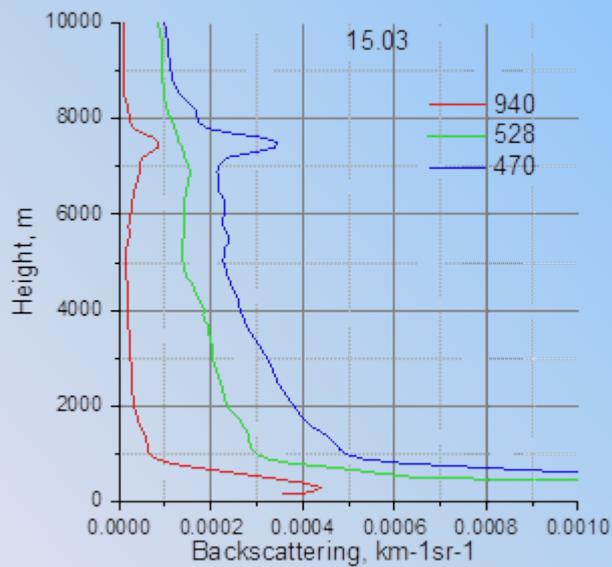


Восстановленные микрофизические параметры вертикального распределения аэрозольных частиц с использованием технологии нейронных сетей





Пример инверсии данных измерений



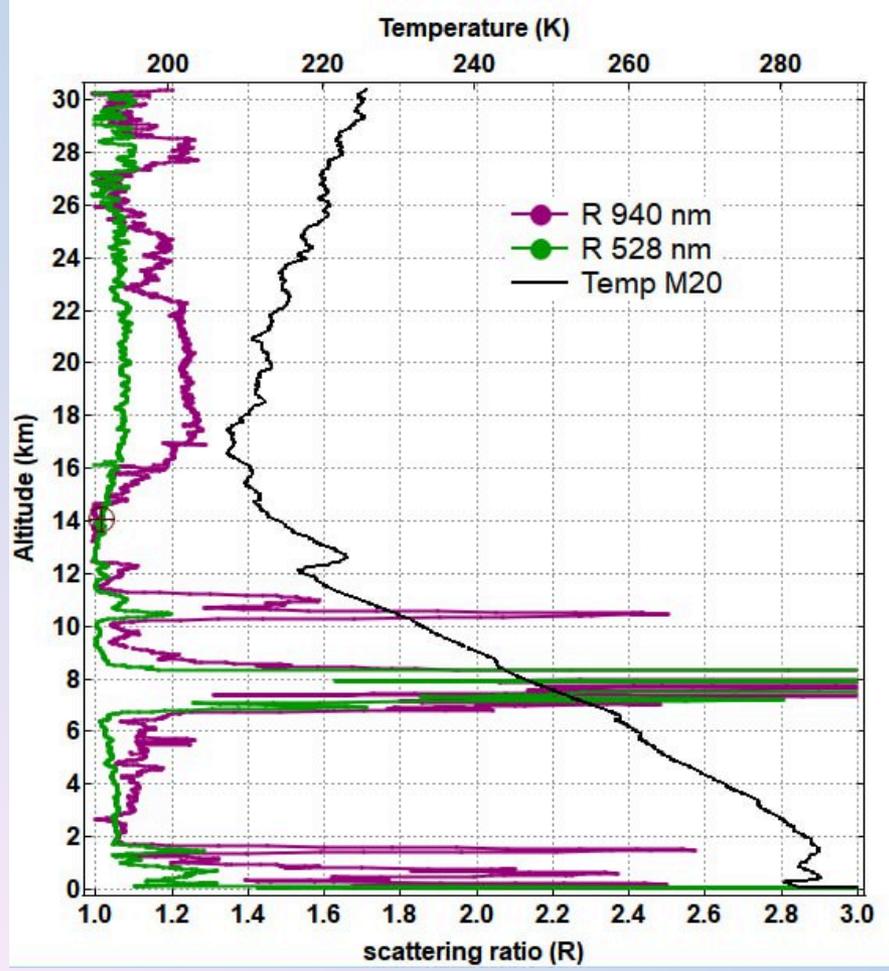
mR	N, cm ⁻³	V, $\mu\text{m}^3\text{cm}^{-3}$	R _{eff} , μm
1.35	63	3.1	0.23
1.45	38	1.8	0.23
1.55	33	1.1	0.21



Выводы и результаты :

- АЗОР как референсный прибор может использоваться в качестве мобильного средства сравнения работ лидаров, расположенных в различных географических точках.
- Применение АЗОР дает возможность получения непрерывных рядов данных в случаях невозможности работы лидара из-за метеоусловий.
- Современная элементная база позволяет создать многоволновой зонд, работающий одновременно на 5-6 длинах волн (470, 528, 595, 650, 850, 940 нм), что может быть использовано для определения микрофизических характеристик аэрозоля, а также расширения лидарных измерений дополнительным набором длин волн.
- Многоволновое зондирование АЗОР дает информацию об абсолютных значениях аэрозольного коэффициента обратного рассеяния и его спектральной зависимости

AZOR, 5 October 2024, AsA ATMOSFER



AZOR, 5 October 2024, AsA ATMOSFER

