

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси

Иванов А. П., Чайковский А. П., Орлович В. А., Лисинецкий  
В. А., Осипенко Ф. П., Хутко И. С., Слесарь А. С., Чулков Р. В.  
(Беларусь, Минск)

**РАЗРАБОТКА ЛИДАРНОГО  
КОМПЛЕКСА ДЛЯ  
ЗОНДИРОВАНИЯ  
АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ  
И ОЗОНА**

# Введение

Измерения параметров атмосферы с использованием лидарных систем дают основной объем информации об высотных профилях параметров атмосферных компонентов. В настоящее время созданы и развиваются международные региональные лидарные измерительные сети. В планах развития международных лидарных сетей признано необходимым стремиться к созданию многофункциональных базовых лидарных станций, которые обеспечат измерение широкого набора характеристик аэрозоля и газовых компонентов, а также метеорологических параметров. Одновременно, эти станции будут служить в качестве образцовых приборов для калибровки других лидарных систем. **Следуя этим пожеланиям**

I. В работе излагаются результаты совершенствования лидарного комплекса Института физики НАН Беларуси с учетом требований к лидарным системам, которые определены в лидарных сетях EARLINET, CIS-LiNet, GALION. Эти требования для зондирования тропосферного аэрозоля предусматривают использование трех длин волн: 355, 532 и 1064 нм и наличие каналов регистрации комбинационного (Рамановского) рассеяния азотом на длине волны 387 или 607 нм и паров воды на длине волны 407 нм. Таким образом, с учетом измерения деполяризации отраженного атмосферой сигнала, **необходимо иметь семь регистрирующих устройств**

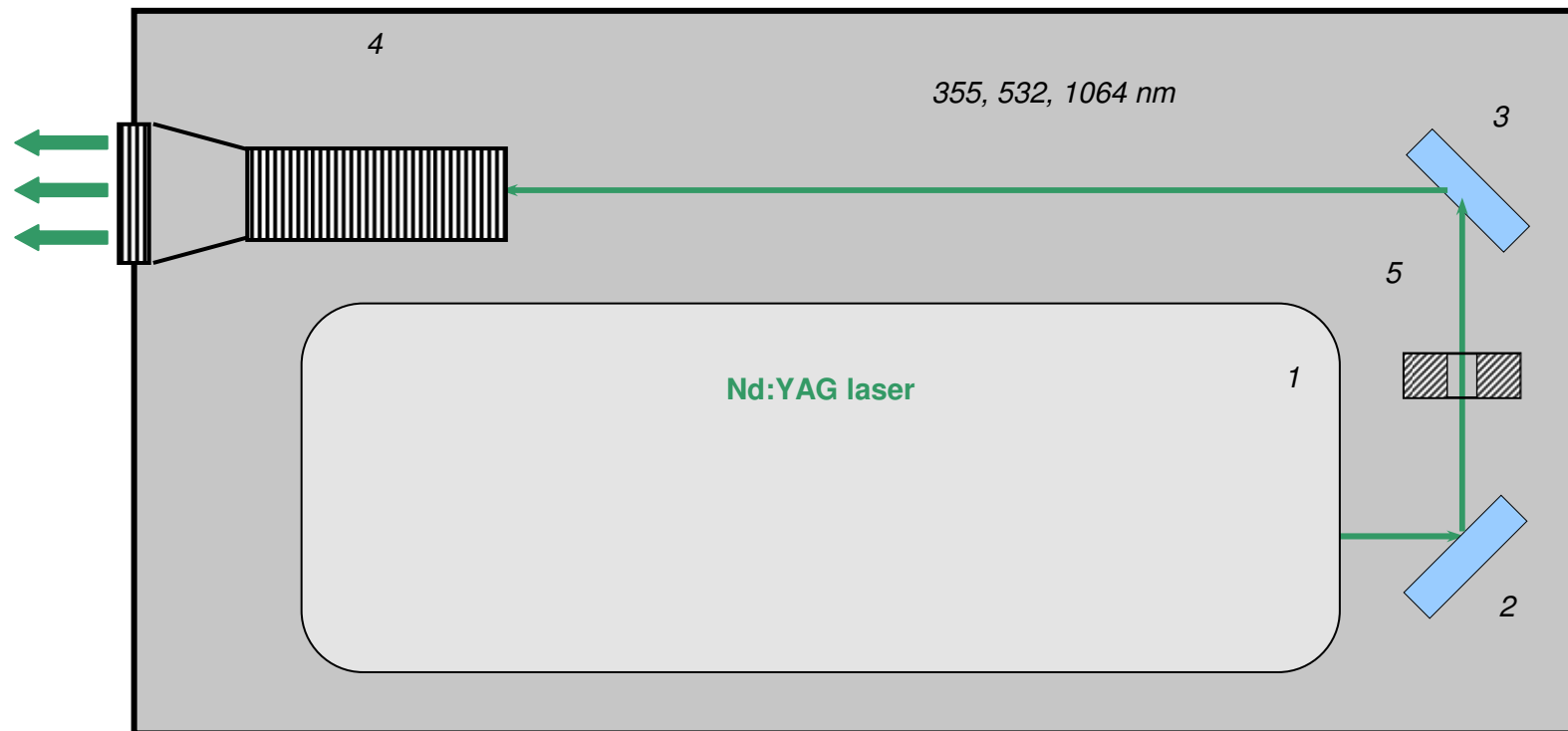
Методика лидарного Рамановского зондирования все в более широкой степени применяется для зондирования атмосферного аэрозоля и газов, поскольку имеет существенное преимущество перед традиционным зондированием на основе упругого рассеяния (без изменения длины волны рассеянного излучения), заключающееся в значительно меньшей потребности в дополнительной (априорной) информации для обработки данных лидарных измерений.

II. Контроль и воздействие на процессы трансформации озонового слоя атмосферы является важной проблемой для мирового сообщества. Однако, если озон в стратосфере – это защита биосферы от жесткого ультрафиолетового излучения, то в нижних слоях атмосферы озон является токсичным загрязнителем атмосферы, оказывающем негативное воздействие на здоровье человека и растительность. Вследствие сказанного, необходимо систематически контролировать не только общее содержание озона в атмосфере, но и его распределение по высоте.

*Рассмотрим созданную многоволновую лидарную систему с Рамановскими каналами (МЛС-Р), и систему измерения высотного распределения озона и аэрозоля в интервале 1 – 40 км, а также аэрозольный лидар для работы в Антарктиде*

# Многоволновая лидарная система с Рамановскими каналами

## *Многоволновый излучатель*



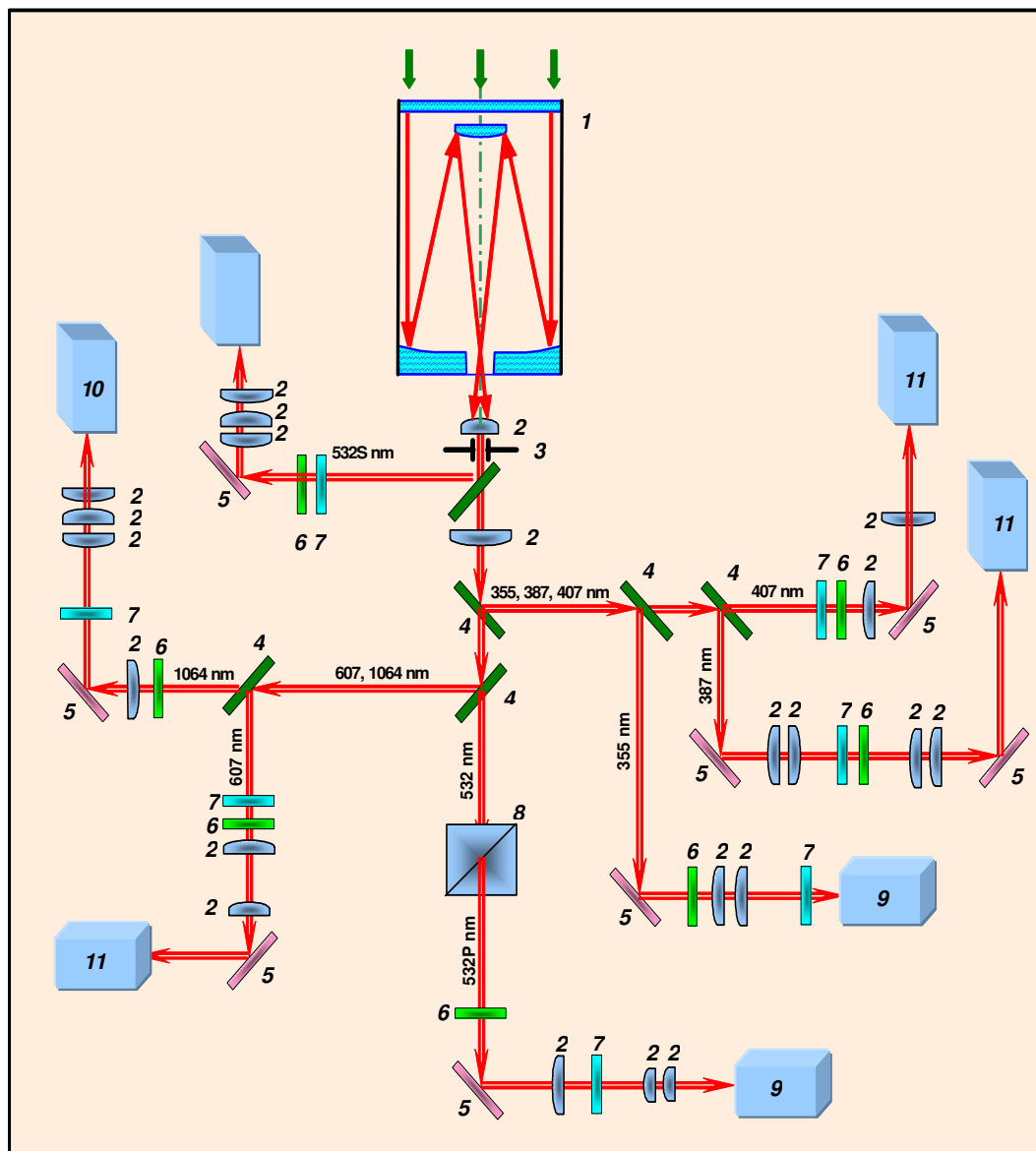
### Блок схема излучателя:

1- АИГ:Nd лазер; 2, 3 – отклоняющие зеркала; 4- трехволновой коллиматор излучения; 5 – оптоволоконный узел сигналов синхронизации

Оригинальным блоком излучателя является трехволновой коллиматор (4), который обеспечивает пятикратное уменьшение расходимости излучения лазера одновременно на 3-х длинах волн

# Многоволновая лидарная система с Рамановскими каналами

## *Многоканальная оптическая приемная система,*



1 – телескоп Кассегрена;

2 – линза;

3 – апертурная  
диафрагма;

4 – спектроделитель;

5 – зеркало;

6 – интерференционный  
фильтр;

7 – отрезающий фильтр;

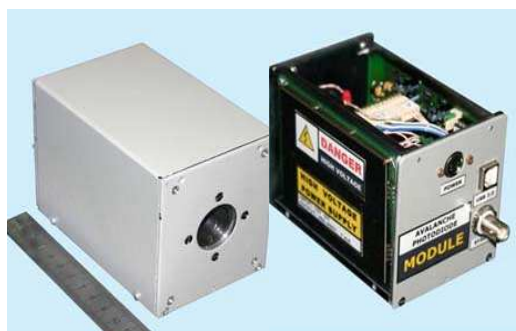
8 – призма Глана;

9, 10, 11 - фотоприемные  
модули; числа на осях  
– длины волн в *нм.*,  
распространяющегося  
света

# Многоволновая лидарная система с Рамановскими каналами

## *Фотоприемные модули*

### Фотография фотоприемных модулей лидара МЛС-Р



Фотоприемные модули включают фотоприемный датчик (фотоумножитель или лавинный фотодиод), усилитель, аналого-цифровой преобразователь (для регистрации в аналоговом режиме) или дискриминатор/счетчик импульсов (для регистрации в режиме счета фотонов). Внутренняя память и схема управления фотоприемного модуля организована на программируемой логической матрице АЛТЕРА. Модуль на основе лавинного фотодиода оснащен схемой охлаждения фоточувствительного кристалла фотоприемника на основе элемента Пельтье. Связь модулей с управляющим компьютером осуществляется по высокоскоростной универсальной последовательной шине USB-2.0.

## Внешний вид многоволнового лидара с Рамановскими каналами



## Технические параметры многоволновой Рамановской лидарной системы

| <i>Излучатель</i>                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Излучатель импульсный<br>Длина волны<br>Энергия импульса<br>Длительность импульса<br>Частота посылки импульсов<br>Диаметр лазерного пучка (расширенный)<br>Расходимость лазерного излучения | Nd:YAG<br>1064, 532 и 355 нм<br>100/55/30 мДж<br>10 нс<br>10 Гц<br>50 мм<br>0.3 мрад                                                                                                                                                                         |
| <i>Приемник</i>                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Телескоп (диаметр)<br>Угол приема излучения<br>Длины волн упругого рассеяния<br>Рамановские длины волн                                                                                      | Кассегрен, 300 мм первичное зеркало<br>0.6 – 5 мрад,<br>1064, 532, 532 деполяризация и 355 нм<br>387, 407, 607 нм                                                                                                                                            |
| <i>Система регистрации</i>                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Каналы регистрации<br>Детекторы<br>Режим регистрации<br>Измеритель<br>Data Output                                                                                                           | Сигнал упругого рассеяния, деполяризация, Рамановский сигнал<br>Фотоприемные модули на основе фотоумножителей и лавинных фотодиодов<br>Аналоговый сигнал и счетчик фотонов<br>АЦП (14 bit, 10 МГц),<br>240 МГц быстрый счетчик фотонов<br>База данных Access |
| <i>Общие характеристики</i>                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Блок питания<br>Потребляемая энергия<br>Температура<br>Вес<br>Площадь для размещения                                                                                                        | 220 V/AC, 50 Гц, однофазное<br>1.5 КВт (без кондиционера)<br>0-40 °С (без кондиционера)<br>200 кг<br>6 м <sup>2</sup>                                                                                                                                        |
| <i>Механическая система</i>                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Альт-азимутальная подвеска<br>Диапазон сканирования по азимуту<br>Диапазон сканирования по углу места                                                                                       | Ручное управление<br>0-360 градусов<br>0 - 90 градусов                                                                                                                                                                                                       |
| <i>Программное обеспечение</i>                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Программный пакет для обработки данных<br>включает                                                                                                                                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Программа предварительной обработки и синтеза данных</li> <li>2. Программа расчета параметров аэрозоля</li> <li>3. Программа конвертирования форматов входных и выходных файлов данных</li> </ol>                  |









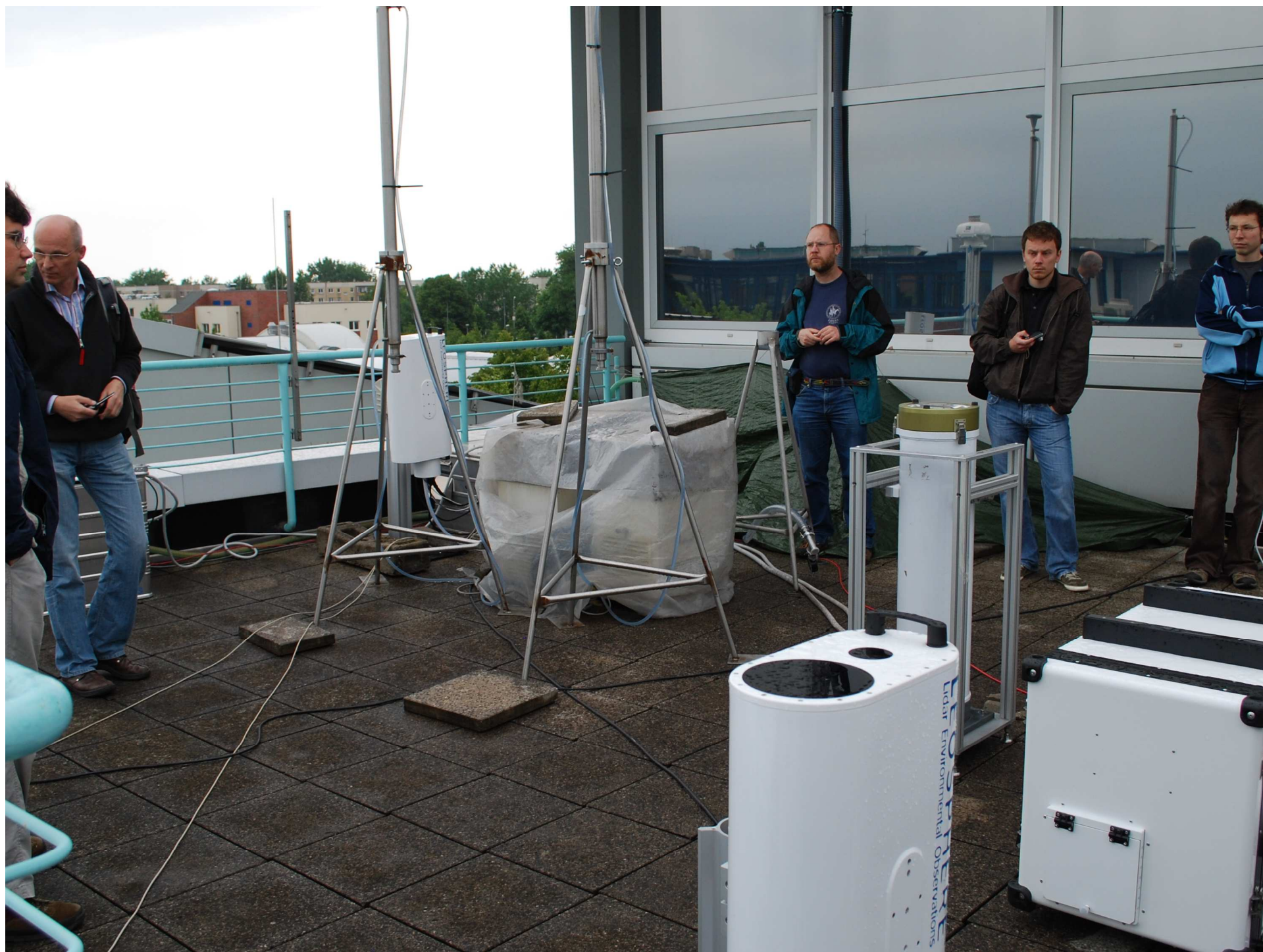




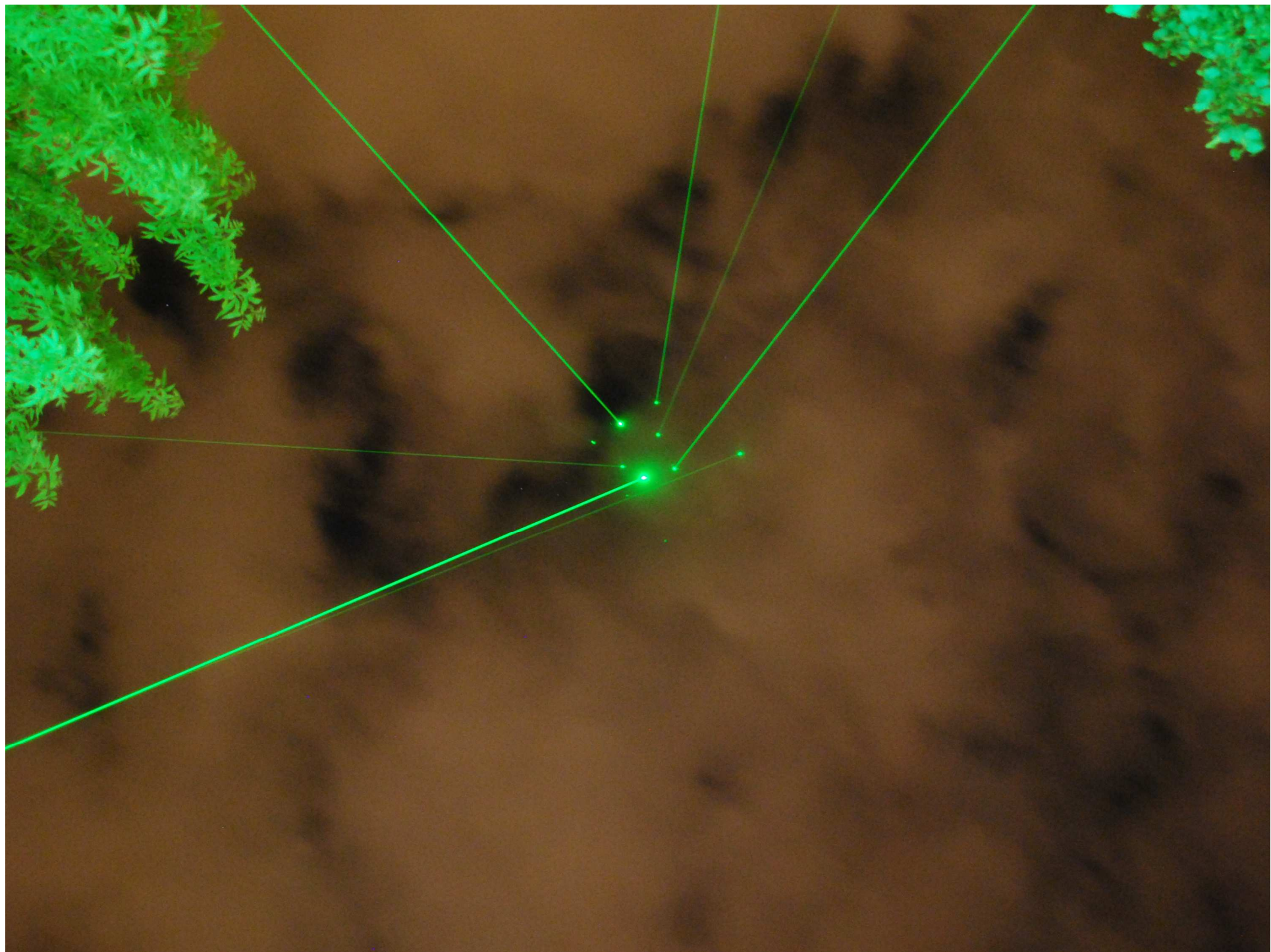








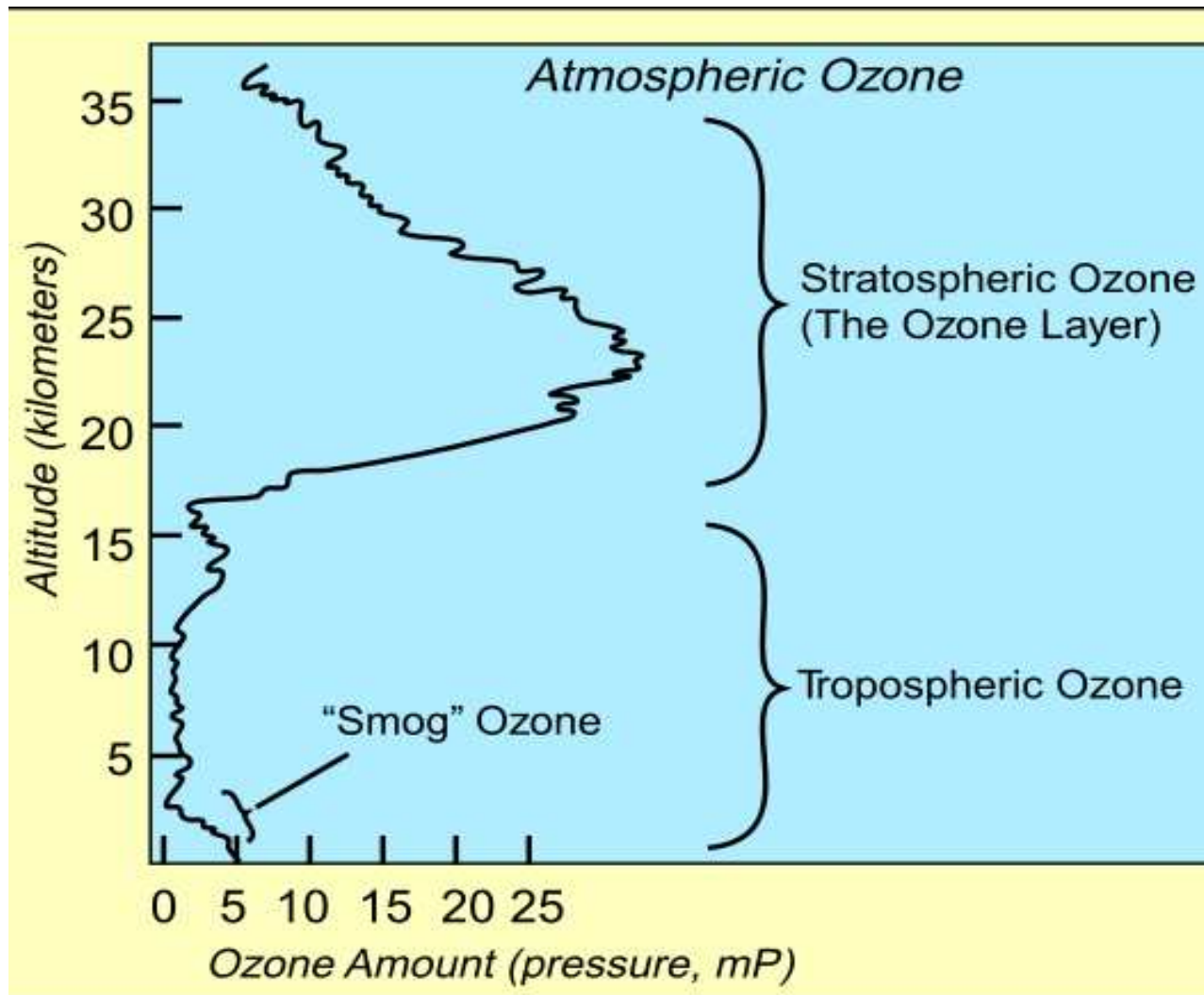








# Высотный профиль концентрации озона в атмосфере

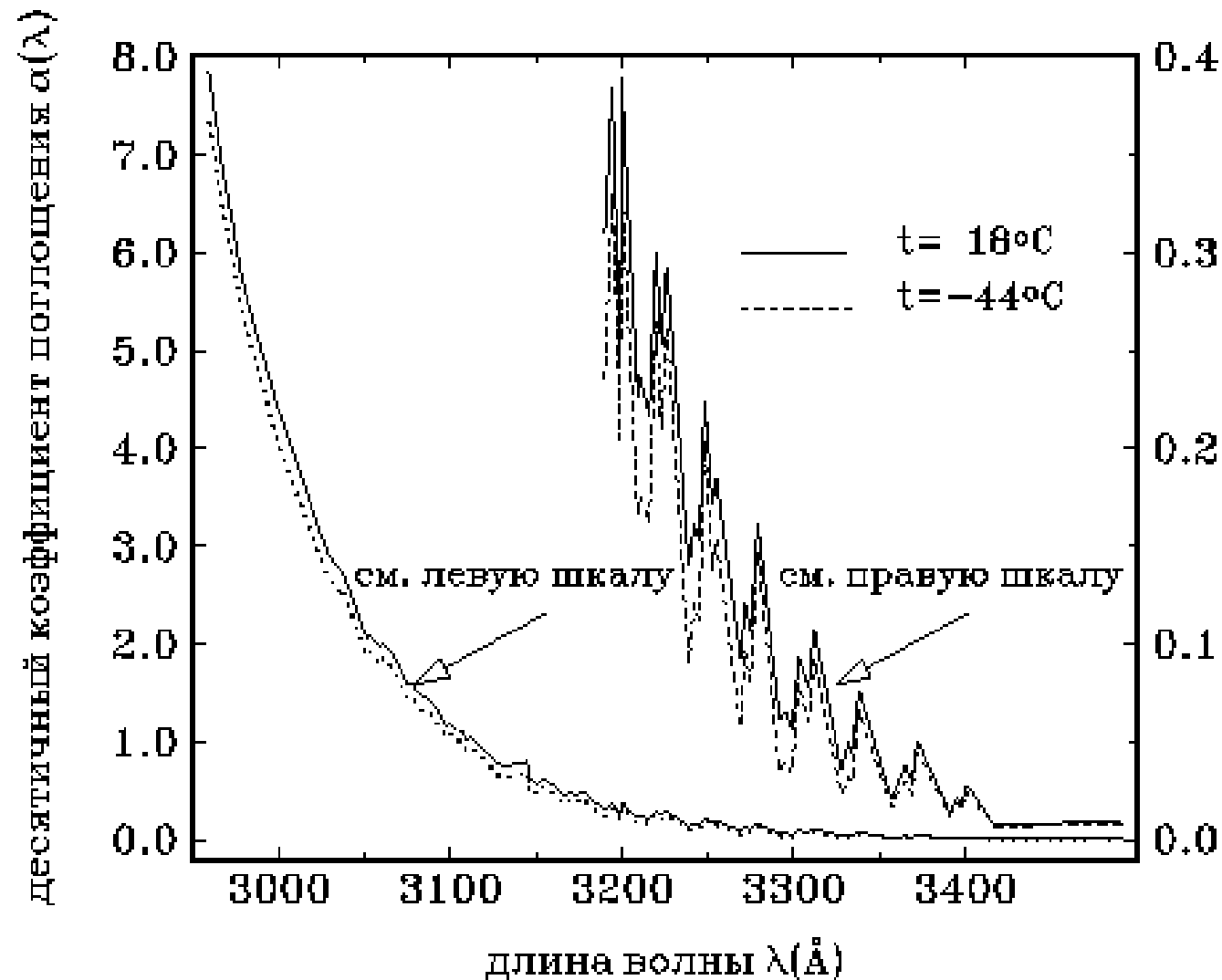




# **Озоно – аэрозольный лидарный комплекс**

- **Лидарное зондирование озона осуществляется по методу дифференциального поглощения, суть которого заключается в измерении локационного сигнала на паре спектральных линий с разным поглощением озона. При этом при больших концентрациях озона нужно выбирать линии с меньшей поглощательной способностью.**

# Спектр поглощения озона

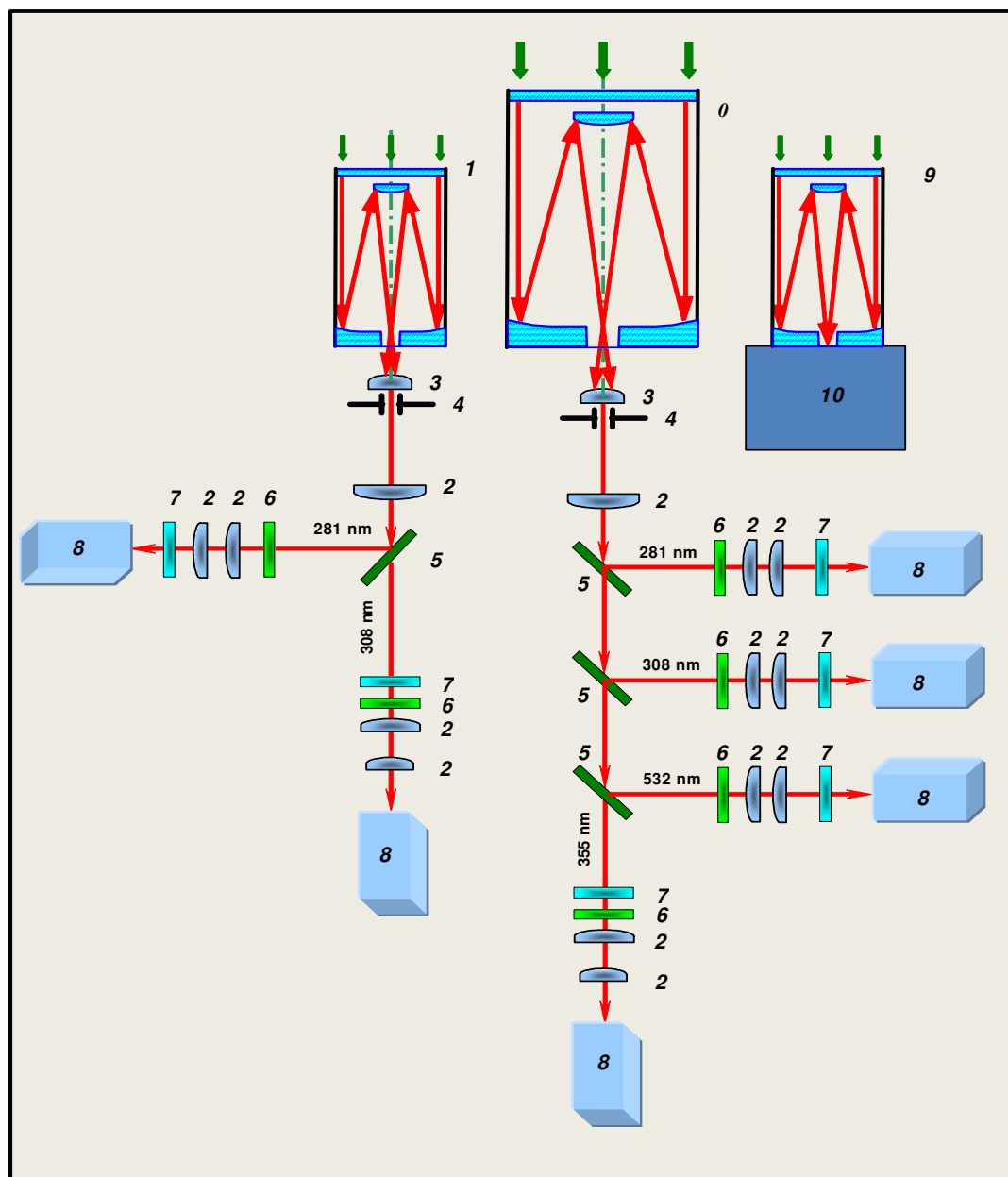




# Озоно – аэрозольный лидарный комплекс

- Таким образом, для работы в стратосфере и тропосфере необходимо использовать разные пары длин волн света. С учетом сказанного сформирована *комплексная передающая система*, которая является *многоканальной*. Три излучателя лидарного комплекса формируют зондирующее лазерное излучение на 5 длинах волн: 281.7, 308, 355, 532 и 1064 нм. Основным излучателем является АИГ:Nd-лазер с преобразователем основного излучения во вторую и третью гармоники. Лазер является источником зондирующего излучения на длинах волн 355, 532 и 1064 нм и, одновременно, источником оптической накачки (вторая гармоника 532 нм) для получения излучения с длиной волны 281.7 нм. при помощи лазера на основе 2-й гармоники твердотельного ВКР – преобразователя. Источником излучения на длине волны 308 нм служит эксимерный ХеСl – лазер;
- При создании *многоканальной приемной системы* возникают особые сложности в связи с большим динамическим диапазоном локационных сигналов при зондировании от нескольких сотен метров до 35 км. Регистрацию локационных сигналов можно осуществить, если использовать несколько приемных объективов. Приемная система построена на основе трех зеркальных объективов.

# Оптическая схема приемной системы озонно-аэрозольного лидарного комплекса



- 1, 9 – телескопы Кассегрена  $D=220\text{mm}$ , 0- телескоп Кассегрена  $D=600\text{ mm}$
- 2, 3 - линзы, 4 – узел сменных диафрагм,
- 5 - спектроделитель,
- 6 – интерференционный фильтр,
- 7 – узел сменных нейтральных фильтров,
- 8 – фотоприемный модуль на основе счетного ФЭУ;
- 10 – многоканальный фотоприемный блок аэрозольного лидара

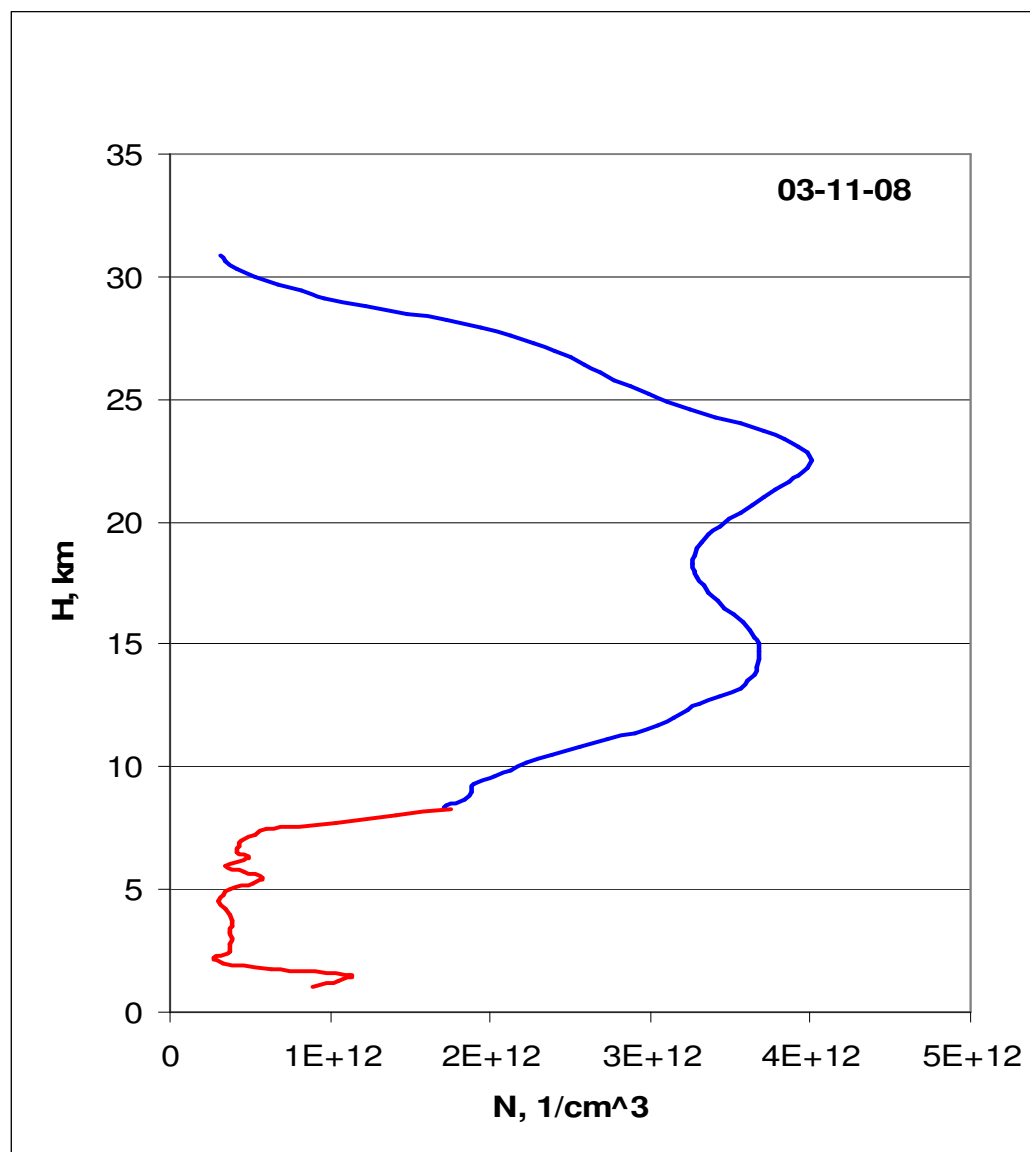


## Внешний вид озono – аэрозольного лидарного комплекса



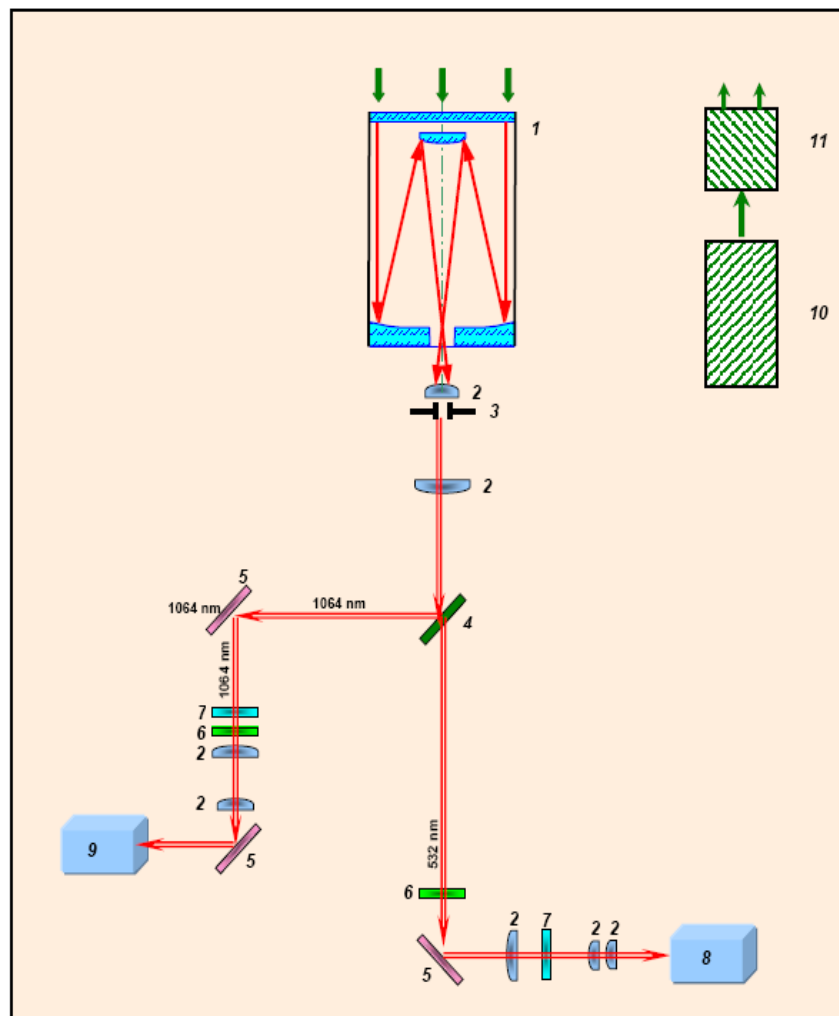
Излучатель Энергия импульсов зондирующего излучения: на длинах волн 281.7, 308, 355, 532 нм равна соответственно 8, 40, 50, 80 мДж; частота следования импульсов – 10Гц Приемная система диаметры приемных зеркал - 600 и 210 мм; фотоприемники на 281.7 и 308 нм - ФЭУ-175; фотоприемники на 355 и 532 нм - ФЭУ-140; полуширина интерференционных фильтров - 5-7 нм; количество импульсов для достаточного накопления сигналов – 30000.

# Профиль концентрации озона в тропосфере и стратосфере, 03-11-08, г. Минск





# Структурная схема приемо-передающей системы специализированного мобильного лидара для зондирования атмосферы в Антарктиде



## *Пояснения:*

- 1** – телескоп Кассегрена;  
**2** – линза; **3** – апертурная  
диафрагма; **4** –  
спектроделитель; **5** – зеркало;  
**6** – интерференционный  
фильтр; **7** – нейтральный  
фильтр; **8** -фото-приемный  
модуль на основе аналогового  
ФЭУ; **9** -фото-приемный  
модуль на основе лавинного  
фотодиода; **10** – YAG-лазер;  
**11** – телескопическая  
насадка

# Технические параметры антарктического мобильного лидара

- Тип лидара Панорамная лидарная станция, аэрозольный канал
- **Излучатель:**
- Тип лазера YAG:Nd
- Длина волны, нм 532, 1064
- Энергия импульса, мДж 25 – 100
- Расходимость, мрад 0.5 – 1
- Частота посылки импульсов, Гц 10
- **Приемник:**
- Телескоп Максудова,
- Диаметр зеркала мм 100
- Фокусное расстояние, мм 1000
- Рабочий спектральный диапазон, нм 532 – 1064
- Число каналов 2
- Режим регистрации Аналоговый