

Рис. 4. Пространственная плотность мощности источников аэрозолей, влияющих на состояние атмосферы в Березинском заповеднике в теплые сезоны (разная степень серости карты) и траектории воздушных масс, на высоте 950 гПа (450 м.) в дни с концентрациями аэрозолей, в два и более раз превышающие среднегодовые

Видно, что в теплые сезоны наиболее мощные источники находятся на восточной границе Украины с Россией, более слабые - на западе Украины и черноземном поясе России. Наибольший вклад в загрязненность атмосферы Минска взвешенным веществом дают южные и восточные территории. Менее всего загрязняют атмосферу северные территории.

УДК 551.501.7

**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

Идея лазерного зондирования основана на измерении временной структуры света импульсного лазера, рассеянного разными участками атмосферы, по которой можно получить информацию о газовых, аэрозольных и метеорологических характеристиках воздуха по трассе. Лазерное зондирование осуществляется с помощью приборов, называемых лидарами. Преимущества лазерного зондирования:

1. Измерение оптических характеристик атмосферы, определяющих радиационный режим, климат Земли и лежащих в основе оценки подавляющего количества компонент среды;
2. Измерение концентрации разных газов естественного и антропогенного происхождения на уровне ПДК (и даже ниже);
3. Измерение концентрации, среднего размера, формы, степени полидисперсности частиц аэрозоля, показателя преломления (а в ряде случаев и химического состава);
4. Измерение направления и величины скорости ветра, плотности воздуха, давления, профиля температуры, влажности в разных участках пространства;
5. Высокое пространственное (до нескольких метров) разрешение измеряемой компоненты;
6. Дальность действия порядка метеорологической дальности видимости (до 2-30 км.) по всему обозреваемому объему пространства;
7. Возможность непрерывного контроля;
8. Экспрессность (сведения о загрязнении значительной территории города получают за несколько часов);
9. Возможность получения огромного массива данных, позволяющих выявлять основные закономерности загрязнения города, промышленного района, заповедника и т.д.;
10. Неконтактность (сведения о свойствах объема воздуха получают на большом расстоянии от него);
11. Скрытность (например, информацию о загрязнении дымами завода можно получать, не связывая ее с производственным процессом; об осуществляемом контроле администрация производства может и не знать).

Возрастающая значимость проблемы изменения климата и экологических задач, обусловленных глобальным загрязнением атмосферы, требует объединения лидарных станций в лидарные сети и проведение координированных наблюдений параметров атмосферных компонентов на основе единых методик измерения и алгоритмов обработки данных, а также использования унифицированных лидарных систем. В планах развития

международных лидарных сетей и прежде всего Европейской лидарной сети EARLINET и сети в странах СНГ CIS-LiNet 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.

В работе излагаются результаты совершенствовании лидарного комплекса Института физики НАН Беларуси в соответствии с возрастающими потребностями в контроле параметров атмосферных примесей/ 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 нм и паров воды на длине волны 407 нм, а также возможность измерения вертикального профиля концентрации озона по всей толще атмосферы

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. Контроль и воздействие на процессы трансформации озонового слоя атмосферы является важной проблемой для мирового сообщества. Широко известна проблема деградации стратосферного озонового слоя. Принят ряд международных соглашений, способствующих предотвращению выбросов озоноразрушающих веществ. Однако, если озон в стратосфере – это защита биосферы от жесткого ультрафиолетового излучения, то в нижних слоях атмосферы озон является токсичным загрязнителем атмосферы, оказывающем в высоких концентрациях 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 в интервале 1 – 40 км.

Многоволновая лидарная система с Рамановскими каналами МЛС-Р. Кардинальными задачами при создании МЛС-Р были разработка многоволнового излучателя, многоканальной оптической приемной системы и фотоприемных модулей.

Разработан *многоволновый излучатель* посылающий в атмосферу одновременно три световых импульса по одной трассе зондирования на длинах волн 355, 532, 1064 нм.

Оригинальным блоком излучателя является трехволновый коллиimator, который обеспечивает пятикратное уменьшение расходимости излучения лазера одновременно на 3-х длинах волн.

Многоканальная оптическая приемная система представляет собой семиканальный оптический анализатор, предназначенный для регистрации излучения:

- локационного сигнала на основной длине волны 1064 нм излучателя на основе YAG-лазера(упругое рассеяние) в аналоговом режиме регистратором 10 с лавинным фотодиодом;
- локационного сигнала на второй гармонике излучателя на основе YAG-лазера, длина волны 532 нм (упругое рассеяние), аналоговый режим регистратора 9 с ФЭУ - 84;
- деполаризованной компоненты локационного сигнала на второй гармонике излучателя на основе YAG-лазера, длина волны 532 нм (упругое рассеяние), аналоговый режим регистратора 9 с ФЭУ – 84;
- локационного сигнала на третьей гармонике излучателя на основе YAG-лазера, длина волны 355 нм (упругое рассеяние), аналоговый режим регистратора 9 с ФЭУ – 84;
- локационного сигнала Рамановского рассеяния азотом, длина волны 387 нм, при накачке излучением третьей гармоники излучателя на основе YAG-лазера в режиме счета фотонов регистратором 11 с фотоумножителем фирмы HAMAMATSU;
- локационного сигнала Рамановского рассеяния парами воды, длина волны 407 нм, при накачке излучением третьей гармоники излучателя на основе YAG-лазера в режиме счета фотонов регистратором 11 с фотоумножителем фирмы HAMAMATSU;
- локационного сигнала Рамановского рассеяния азотом, длина волны 607 нм, при накачке излучением второй гармоники излучателя на основе YAG-лазера в режиме счета фотонов регистратором 11 с фотоумножителем фирмы HAMAMATSU.

Разделение оптического сигнала по спектральным компонентам осуществляется системой спектроделителей, которые рассчитаны таким образом, что последовательно выделяют спектральные компоненты. При этом Рамановские сигналы проходят или отражаются с минимальными потерями, в то же время локационные сигналы на зондирующих длинах волн в “несобственных” каналах в максимальной степени подавляются. Чтобы выделить необходимую спектральную полосу, в каждом канале установлен интерференционный фильтр и узкополосный отрезающий фильтры.

Для регистрации излучения были изготовлены *фотоприемные модули*, являющиеся унифицированными узлами лидарной аппаратуры в лидарной сети CIS-LiNet и некоторых станциях сети EARLINET. Модуль представляет собой функционально законченное изделие. 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.

Основные функциональные блоки лидарной системы апробировались в натурном эксперименте. Тестовые измерения показали отсутствие всплесков Рамановских сигналов при наличии облаков, что говорит о достаточной степени подавления зондирующего излучения в приемных Рамановских каналах.

По результатам экспериментов были восстановлены профили параметров аэрозоля:

показатель обратного рассеяния на длинах волн 355, 532, 1064 нм; показатель ослабления на длине волны 355 нм; степень деполаризации аэрозольного рассеяния на длине волны 532 нм. В рамках программы интеркалибровки лидаров в сети EARLINET выполнены испытания системы.

Озоно - аэрозольный лидар. Лидарное зондирование озона осуществляется по методу дифференциального поглощения. Суть этого метода заключается в измерении локационного сигнала на паре линий «on line» (линия с большим поглощением) и «off line» (линия с малым поглощением). При работе по двухчастотному методу дифференциального поглощения «полезным» является только резонансное поглощение исследуемым газом, так как именно из этой составляющей поглощения извлекается информация о концентрации газа.

Озоновый лидар включает в себя передающую и приемную системы. Корректный расчет профилей концентрации озона требует учета ослабления излучения аэрозолем. Для одновременного зондирования озонового и аэрозольного слоя в тропосфере и стратосфере 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.

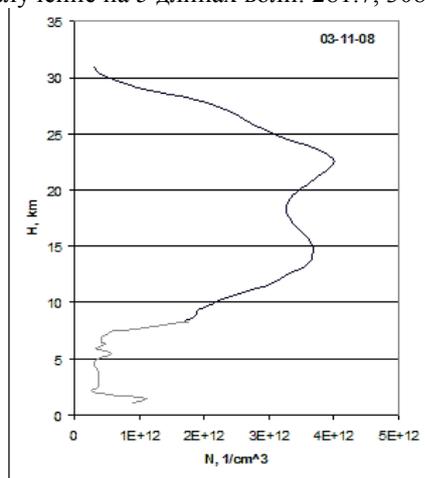


Рис. 1. Профиль концентрации озона в тропосфере и стратосфере, 03-11-08, г. Минск

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; Лидарные сигналы из ближней зоны на длинах волн 281.7 и 308 нм используются для расчета профиля концентрации озона в нижнем слое тропосферы, а сигналы на длинах волн 308 и 355 нм в стратосфере.

При создании *многоканальной приемной системы* возникают особые сложности в связи с большим динамическим диапазоном локационных сигналов при зондировании от нескольких сотен метров до 40 км, в особенности, для излучения в линии поглощения озона. Поэтому приемная система построена на основе трех зеркальных объективов. Большой объектив с служит для регистрации локационных сигналов из дальней зоны.

Два других используется для зондирования озона в ближней зоне и аэрозоля. Для исключения засветки фотоприемников сигналом из ближней зоны используется также оптико-механическое устройство, называемое отсечкой.

Озоно – аэрозольный лидарный комплекс имеет следующие технические показатели.

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 накопление сигналов – 30000.



Рис. 2. Внешний вид многоволнового лидара с Рамановскими каналами (слева) и озоно-аэрозольного лидарного комплекса (справа)

В результате выполненных измерений удалось построить профили концентрации озона от уровня менее 1 км до 32 км. Граничный уровень между измерениями в нижнем и верхнем слое атмосферы находился на уровне 8 км. На рис. 1 приведен один из высотных профилей концентрации озона в тропосфере (светлая кривая) и стратосфере (темная кривая). Результаты проведенных экспериментов показали практическую возможность посредством разработанной аппаратуры непрерывно измерять профили концентрации озона в тропосфере и стратосфере. Общий вид созданного и усовершенствованного аппаратурного комплекса представлен на рис. 2.

УДК 535.34: 535.36: 53.082.53

Барун В. В., Дик В. П., Иванов А. П. (Беларусь, Минск)

АППАРАТУРНЫЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ, РАССЕЯННОГО БИОЛОГИЧЕСКИМИ ТКАНЯМИ И ГУМОРАЛЬНЫМИ СРЕДАМИ

Введение. Спектральные методы прочно вошли в практику определения компонентного состава, структурных и оптических характеристик различных сред. Однако применение этих методов для неинвазивной диагностики биологических тканей не столь широко, несмотря на очевидные преимущества по сравнению с другими известными способами, например, безболезненность светового воздействия, оперативность получения информации, отсутствие дорогостоящих реактивов и расходных материалов. В полной мере воспользоваться указанными достоинствами оптической диагностики к настоящему времени не удается по ряду причин. Одна из них связана с отсутствием промышленно выпускаемых технических средств, предназначенных для измерения характеристик света, рассеянного биотканями в условиях *in vivo*. Вторая причина заключается в том, что известные и стандартные спектроскопические методики измерения и обработки данных основаны на использовании закона Бугера – Ламберта – Бера и поэтому применимы лишь для прозрачных или слабо рассеивающих свет сред. Биологические ткани являются сильно мутными объектами, и уже для геометрически тонкой среды реализуются условия многократного рассеяния света. Это существенно затрудняет выделение полезной информации из измеряемого оптического сигнала и требует создания специальных алгоритмов и компьютерных программ для решения обратной задачи. Цель данной работы – разработка компактной и легко транспортируемой системы, сочетающей удобство измерения в условиях *in vivo* различных спектральных характеристик рассеянного света, обеспечение возможности комплексного изучения режимов однократно и многократно рассеянного излучения биотканей и гуморальных сред, получение экспериментальных результатов в абсолютных единицах, позволяющих воспользоваться аналитическими методиками решения обратной задачи по восстановлению структурных и биофизических параметров среды.

Структура измерительной системы. Прибор укомплектован по модульному принципу. Это обеспечивает гибкость системы в эксплуатации, возможность ее простой сборки и разборки, малые габариты. В качестве базовой комплектации использованы отдельные блоки, выпускаемые фирмой OceanOptics. Для каждого варианта режима работы общими модулями являются источник света на базе галогенной лампы HL-2000-LL, спектрометр USB4000-VIS-NIR (приемник излучения) и персональный компьютер. Кроме того, система включает ряд общих вспомогательных блоков и приспособлений, среди которых – программное обеспечение SPECTRASUITE, приемное и передающее волокна оптического типа QP400-2-VIS-BX, коллиматор типа 74-ACR, эталон оптический типа WS-1. При измерении различных характеристик рассеянного света дополнительно используются взаимозаменяемые модули, часть которых произведена OceanOptics, а другая разработана и изготовлена в Институте физики НАН Беларуси.

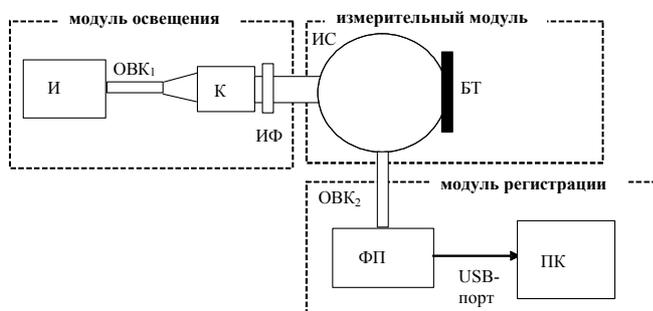


Рис. 1. Структурная схема прибора: И – источник света; ОВК₁ – передающий оптоволоконный кабель; К – коллиматор; ИФ – интерференционный фильтр; ИС – интегрирующая сфера; БТ – образец биоткани или гуморальной жидкости; ОВК₂ – приемный оптоволоконный кабель; ФП – фоторегистрирующее устройство; ПК – персональный компьютер

На рис. 1 представлена структурная схема системы в режиме измерения спектральных коэффициентов диффузного отражения. Свет от источника И поступает в оптоволоконный кабель ОВК₁ и выходит из него в виде расходящегося пучка с полным углом расходимости порядка 25°. Коллиматор К формирует параллельный пучок диаметром примерно 3 мм. При необходимости устанавливается интерференционный фильтр ИФ, который выбирает требуемую длину волны излучения. Далее свет поступает в интегрирующую сферу ИС (фотометрический шар) типа ISP-80-8-R, в измерительном порте которой вначале помещается калибровочный оптический эталон, а затем образец биоткани или гуморальной жидкости.