

## Оптика атмосферы и океана — неоконченный урок взаимодействия оптического излучения со средой распространения

Г.Г. Матвиенко, В.А. Погодаев\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 29.11.2011 г.

Проанализирована публикационная деятельность журнала «Оптика атмосферы и океана», и выделены приоритетные направления научных исследований на основе публикаций рубежа первого десятилетия XXI века.

**Ключевые слова:** оптика атмосферы, распространение лазерного излучения, филаментация фемтосекундного импульса; atmospheric optics, propagation of laser radiation, femtosecond filamentation.

Данным выпуском мы открываем юбилейный 25-й том журнала «Оптика атмосферы и океана». Журнал основан Постановлением Президиума АН СССР № 859 от 15 сентября 1987 г., в котором сказано: «Поручить Институту оптики атмосферы Сибирского отделения АН СССР всю необходимую работу для обеспечения регулярного и своевременного выпуска Журнала...» Пост главного редактора журнала был доверен академику В.Е. Зуеву — организатору Института оптики атмосферы СО АН СССР (ныне ИОА СО РАН).

Оптика атмосферы в Томске «зародилась» практически одновременно с Сибирским отделением АН СССР. ИОА СО РАН был открыт на базе лаборатории инфракрасных излучений Сибирского физико-технического института Томского государственного университета в сентябре 1969 г. [1]. Создание этой лаборатории началось в декабре 1955 г., т.е. примерно за 14 лет до открытия ИОА СО РАН. В то время Сибирскому физико-техническому институту правительственным постановлением было поручено выполнение темы, связанной с исследованием эффективности работы тепlopеленгаторов и приборов ночного видения при различных условиях в атмосфере [2].

В начале 60-х гг. XX в., когда идея лазера стала обрести «железо» технических решений, на специалистов обрушилась лавина сообщений по лазерной тематике [3]. «Появление лазеров с их уникальными свойствами дало толчок стремительному развитию оптики атмосферы в последнюю четверть века. Многообразные применения лазеров в системах, работающих в атмосфере, таких как системы связи, локации, дальнометрирования, на-

вигации и многих других, а также широкие возможности их использования для зондирования самой атмосферы потребовали пересмотра практически всех основ «классической» и создания новой «лазерной» оптики атмосферы» [4].

В этой связи состав редакционной коллегии журнала был сформирован из ведущих ученых и специалистов отраслевых министерств. Нам представляется, что эта традиция не будет нарушена и в дальнейшем. В становлении журнала большую поддержку своими публикациями оказали известные ученые: К.Я. Кондратьев, А.П. Иванов, А.П. Сухоруков, С.Д. Творогов, М.В. Кабанов, В.В. Зуев, Г.И. Горчаков, Л.Т. Матвеев, А.С. Гурвич, В.П. Кандидов, а также представители отраслевой науки — П.А. Бакут, Н.В. Чебуркин, В.В. Морозов, В.В. Валуев, Ю.А. Коняев, А.Б. Игнатьев.

В нашем журнале наряду с активнейшим автором академиком К.Я. Кондратьевым печатались и печатаются академики Г.С. Голицын, Г.А. Жеребцов, Б.М. Ковальчук, А.М. Прохоров, Ф.В. Бункин, С.Н. Багаев, С.П. Бугаев, А.И. Савин, А.П. Лисицин, Г.Г. Матишов, Г.В. Смирнов, Г.А. Месяц, О.Н. Крохин, Г.Ф. Крымский, члены-корреспонденты РАН Н.А. Ратахин, С.Г. Раутиан, В.Л. Мионов.

Позволим себе подчеркнуть присутствие в числе авторов на страницах журнала лауреатов Нобелевской премии А.М. Прохорова и К.Р. Shine.

После сказанного нет необходимости убеждать читателя в комплексности и сложности проблем, освещаемых журналом. За каждым именем легко видеть не по одному направлению развиваемых исследований, прямо или косвенно влияющих на развитие оптики окружающей среды. Добавим только, что за прошедший период в журнале опубликованы результаты по различным направлениям оптики атмосферы и океана, выполненные в 18 зарубежных

\* Геннадий Григорьевич Матвиенко (mgg@iao.ru);  
Виталий Алексеевич Погодаев (kam@iao.ru).

странах. Наиболее активны исследователи Германии, Франции, США, Китая, Японии.

Решение подобных проблем невозможно без объединения усилий разных специалистов, без организации и проведения натурных исследований в различных географических регионах.

Учитывая финансовые трудности начала 90-х гг. XX в., не позволяющие всем желающим присутствовать на заседаниях конференций и симпозиумов по вышеобозначенной проблеме, освещающих ее отдельные направления, журнал «Оптика атмосферы и океана» с 1992 г. практикует издание тематических выпусков, позволяющих в концентрированном виде знакомить читателя с результатами, полученными за предыдущие год-два. С 1994 г. сформировался вполне самостоятельный тематический выпуск «Аэрозоли Сибири» (под редакцией М.В. Панченко), публикуемый ежегодно. В кулуарных разговорах участников Рабочей группы «Аэрозоли Сибири» часто можно слышать фразу «журнал в журнале». Речь идет именно о тематических выпусках журнала по материалам заседаний очередной Рабочей группы.

В 12-м номере каждого тома журнала можно найти «Указатель статей и кратких сообщений, опубликованных за истекший год». Все статьи конкретного выпуска скомпонованы в соответствии с рубрикаторм журналов, и, таким образом, читатель легко может составить собственное мнение о приоритетах рубрикатора.

Беглый обзор публикаций за три последних года говорит о том, что основные приоритеты в рубрикаторе и взаимовлияние рубрик можно выстроить следующим образом:

- Распространение оптических волн.
- Оптика кластеров, аэрозолей и гидрозолей.
- Оптические модели и базы данных оптической информации об окружающей среде.
- Атмосферная радиация, оптическая погода и климат.
- Аппаратура и методы оптической диагностики окружающей среды.

При этом, если не учитывать тематические выпуски, можно считать рубрику «Оптика кластеров, аэрозолей и гидрозолей» преобладающей.

Фактически на заре становления «лазерной оптики», в начале 1963 г., «в ВПК был представлен проект создания экспериментального лазерного локатора для ПРО, получившего условное название ЛЭ-1...». В конце 60-х гг., когда на Балхашском полигоне строился ЛЭ-1, рядом с этим локатором был создан также специальный измерительный комплекс для контроля и изучения состояния атмосферы и прохождения через нее лазерного излучения. В этой работе большую роль сыграли ученые ИОА СО РАН под руководством академика В.Е. Зуева» [3].

Опыт работы по учету атмосферных факторов при натурных исследованиях разрабатываемых оптико-электронных систем (в том числе и лазерных) показывает, что аппаратура и методика, используемые для этого, должны обеспечивать диагностику оптических характеристик атмосферного канала в любой момент времени проведения исследований

[5]. Эксперименты показали, что сейчас основная проблема учета влияния атмосферных факторов на ослабление лазерного излучения заключается в адекватном описании процесса аэрозольного ослабления (а еще глубже в знании микрофизики взаимодействия лазерного излучения различной мощности с частицами аэрозоля и атмосферными газами).

В плане диагностики наблюдающихся вариаций и изменчивости климата необходимо знать, насколько значительно и необычно глобальное потепление; наблюдаются ли существенные изменения общей циркуляции атмосферы и океана, а также осадков и влагосодержания атмосферы; какова роль аэрозолей в климатических процессах и как быстро изменялся климат в прошлом. Бесспорны изменения в составе атмосферы: увеличение содержания углекислого газа, аэрозолей, ряда парниковых газов и, возможно, уменьшение содержания стратосферного озона, а также изменение структуры поля облачности. Большинство установленных фактов [6] связано с прямым влиянием аэрозолей не только на радиационный режим атмосферы, но и на фазовые переходы воды, в первую очередь на образование облачности, на изменение химического состава атмосферы (гетерогенные и фотохимические реакции), на нагрев поверхностных слоев океана и на альбедо снежных и ледниковых поверхностей.

Учитывая огромное разнообразие источников и стоков, химического состава частиц и высокую пространственно-временную изменчивость их свойств, можно сделать вывод, что сведения об оптических характеристиках аэрозоля и их трансформации под воздействием всего комплекса геофизических процессов на сегодняшний день могут быть получены только экспериментальным путем [7]. Исходя из данной постановки вопроса, авторы [7] схематично представили обобщенную эмпирическую модель оптических характеристик аэрозоля для нижнего 5-км слоя атмосферы Западной Сибири. Модель основана на данных многолетнего самолетного зондирования вертикальных профилей коэффициентов направленного рассеяния (на длине волны 0,51 мкм), функции распределения частиц по размерам, содержания поглощающего вещества (сажи). Приведенные в [7] результаты относятся к средним значениям восстанавливаемых величин для каждого из сезонов года, тем не менее предлагаемая модель дает возможность восстановления необходимых оптических характеристик для каждой конкретной атмосферной реализации, если потребитель располагает каким-либо набором измеряемых величин (приземные значения коэффициентов рассеяния, величина аэрозольной оптической толщи, метеопараметры и т.д.), являющихся входными параметрами модели.

Большой объем, доступность, надежность и глобальность охвата информации об аэрозольно-оптических параметрах атмосферы, получаемой наземными станциями мониторинга, а также с помощью приборов, размещенных на воздушных и космических платформах, приводят к тому, что в последнее

время активно разрабатываются идеи использования этих данных для решения как научных, так и практических задач охраны окружающей среды. Например, аэрозольная оптическая толща из предмета академического исследования становится средством и инструментом решения экологических задач [8, 9].

Отметим развиваемые методы определения микрофизической основы частиц аэрозоля в контролируемых лабораторных условиях. В комплексной постановке теория—эксперимент, обсуждение, эксперимент—теория исследованы особенности динамики комплексного показателя преломления (КПП) для трех фракций частиц при старении в течение 2 сут смешанных древесных дымов, образованных при одновременной генерации частиц от двух источников в режимах пиролиза и пламенного горения. На начальной стадии формируется дым, в котором показатель поглощения уменьшается с ростом крупнодисперсности частиц в среднем в 600 раз. При долговременном старении дыма происходит уменьшение показателя поглощения микродисперсных сажевых частиц в 1,2 раза, сопровождаемое ростом его значений для средне- и крупнодисперсных частиц в 1,5 и 4,7 раза соответственно. Это означает, что динамика микрофизического состава дыма на всех стадиях его существования в основном обусловлена проникновением сажи из нанометрового диапазона в область более крупных размеров частиц за счет коагуляции.

Численный эксперимент показал, что для корректного решения обратной задачи при старении смешанных дымов *необходимо использовать только соответствующие данному моменту времени значения КПП*. Попытки решения обратной задачи при неизменных во времени значениях КПП приводят к возрастанию в несколько раз невязки между измеренными и восстановленными оптическими характеристиками относительно невязки для истинных значений КПП в конкретный момент времени, составляющей 6–10%.

Развиваемый подход обеспечил с высокой точностью восстановление истинного значения КПП оптически активных частиц среднedisперсного диапазона размеров [10–13].

Известно, что приземная атмосфера представляет собой слабоионизованную аэрозольно-газовую среду, находящуюся в электрическом поле Земли. В [14] предложена физическая гипотеза, позволяющая заключить, что напряженность атмосферного электрического поля через диффузионный механизм заряда микродисперсного аэрозоля влияет на оптические свойства атмосферы. Предполагается, что рост напряженности электрического поля в зимних дымках может служить предвестником образования смоговой ситуации.

В современных исследованиях климата изучению образования и эволюции аэрозольных частиц в присутствии ионов уделяется серьезное внимание. Например, на формирование климата большое влияние оказывают процессы облакообразования, в которых конденсация на атмосферных ионах мо-

жет играть существенную роль. Имеющиеся результаты говорят о том, что около 10% от суммарного количества аэрозоля в мезосфере образуется благодаря нуклеации на ионах [15].

Согласно [5] аэрозольное ослабление лазерного излучения при распространении в атмосфере является наиболее значимым, а знание оптических характеристик частиц одного и того же аэрозольного образования в различные моменты времени [10] решающим при прогнозе условий распространения излучения, и при интерпретации полученных данных. Это особенно важно для решения задач нелинейной оптики атмосферы при распространении мощного лазерного излучения разнообразного спектрального состава и различном режиме излучателей (от непрерывного до импульсов фемтосекундной длительности) в реальной атмосфере. Именно здесь задача адекватного описания аэрозольного ослабления требует знания микрофизики взаимодействия интенсивного излучения с частицами аэрозоля различного происхождения [16–18].

К настоящему времени установлены и изучены механизмы оптической нелинейности жидкокапельных сред. Разработаны эффективные методы расчетов. Созданы полуэмпирические модели, обеспечивающие прогнозирование потерь энергии и направленности мощных лазерных пучков на протяженных атмосферных трассах. Разработаны физические основы новых методов диагностики дисперсных сред.

Оставаясь актуальным направлением на протяжении многих десятков лет [3], оптика атмосферы переживает новый этап развития благодаря созданию мощных фемтосекундных лазерных систем, с которыми связаны перспективы развития оптических технологий в изучении природных явлений.

Мы с удовольствием отмечаем, что для данного направления атмосферных исследований страницы нашего журнала традиционно являются привлекательными [19–26]. Это подтверждают две работы настоящего выпуска [27, 28].

Следует извиниться перед читателем за столь подробный (но далеко не полный) библиографический список опубликованных работ по данному направлению. Мы лишь хотели подчеркнуть его актуальность и сконцентрировать ссылки на полученные результаты.

Характеризуя использование фемтосекундного излучения в атмосферных исследованиях, необходимо уточнить, что данное направление полностью «погружается» в раздел «Аппаратура и методы оптической диагностики окружающей среды».

Как видно из изложенного выше, активно проводятся лабораторные исследования. Не будем забывать, что земная атмосфера кроме жидких и твердых частиц аэрозоля содержит газовые компоненты. В методологии замечен переход от экспериментов, демонстрирующих возможности и перспективы зондирования атмосферы ультракороткими импульсами, к тщательному изучению новых явлений в атмосферной оптике, возникающих при распространении таких импульсов в реальной атмосфере.