

технологии» Российской академии естественных наук и Всероссийского конкурса инновационных разработок в педиатрии «Педиатрия XXI века», регионального конкурса инновационных проектов «Бизнес-идея», дипломы международных, российских и региональных научных конференций. Не только в России, но и за рубежом признают высокий научный уровень студентов и молодых ученых СГМУ. Подтверждением данного факта является продолжение выпускниками университета своих научных исследований в аспирантуре и в качестве соискателей на ученую степень, а 22 молодым ученым нашего вуза после завершения своих научных проектов в университетах Норвегии, Швеции, Германии и Польши присвоена ученая степень PhD. Представителей нашей молодежной науки приглашают для дальнейшего обучения и научной деятельности в ведущие университеты Европы.

Может возникнуть закономерный вопрос, каким образом удается получать столь значимые результаты? Мы полагаем, что одним из важнейших условий научных достижений молодых исследователей, является создание и функционирование четкой, отлаженной системы организации с научной молодежью. Подготовка будущих научных кадров представляет, по сути, непрерывный многоэтапный процесс, в котором задействованы структуры научного, учебного и международного блоков СГМУ, обеспечивающие и контролирующее развитие молодежной науки. В систему подготовки научных кадров входят научно-инновационный отдел, Совет молодых ученых (СМУ) и студенческое научное общество (СНО), центральная научно-исследовательская лаборатория, международный отдел, Архангельская международная школа общественного здоровья, Центр довузовского образования и профориентации СГМУ. Каждый этап последовательного роста научной подготовки является своеобразной ступенью возрастной лестницы «научного взросления»: школьник – студент – член СНО – аспирант – докторант. Научные интересы школьников, будущих абитуриентов университета, выявляются, формируются

и развиваются в Центре довузовского образования и профориентации СГМУ. При Центре создано и активно работает научное общество школьников «Малая академия», которое организует научную работу учащихся школ и лицеев, организует ежегодные научные конференции с символическим названием «Малые Ломоносовские чтения» с последующим изданием сборников научных работ школьников. Таким образом, происходит знакомство и приобщение к науке, приобретает первый опыт научных исследований. Следующий этап подготовки реализуется молодыми исследователями при активной работе в СНО, кстати, одном из старейших и авторитетных среди подобных студенческих обществ вузов области. История СНО СГМУ насчитывает более 60 лет: официальной датой создания общества считается 1947 г., при этом первые студенческие кружки начали работать в 30-е годы прошлого столетия, а первая научная студенческая конференция была проведена в 1936 г. Организация и координация научных исследований молодых ученых с 1972 г. официально была возложена на созданный Совет молодых ученых (СМУ), работающий все последующие годы в тесном сотрудничестве со СНО. В университете при активном участии СМУ и СНО ежегодно проводятся итоговые научные конференции студентов и молодых ученых, с 2008 г. получивших статус международных; дважды в год издаются сборники научных работ молодых исследователей «Бюллетень СГМУ»; осуществляется международное сотрудничество под эгидой Международной федерации ассоциаций медицинских студентов (международные научные проекты, стажировки).

Молодые ученые находят у руководителей университета понимание и поддержку в своей научной деятельности на сложном и трудном пути к будущим научным достижениям. В данной связи имеются все основания утверждать о приоритетности программы постоянной и последовательной подготовки научных кадров как основы научного потенциала образовательных и научных учреждений и государства в целом.

### *Физико-математические науки*

#### **ЛИДАР ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ТРОПОСФЕРНО-СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА<sup>1</sup>**

<sup>1,2</sup> Романовский О.А., <sup>1</sup> Харченко О.В.,  
<sup>1</sup> Бурлаков В.Д., <sup>1</sup> Долгий С.И., <sup>1</sup> Невзоров А.В.

<sup>1</sup> *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, email: goa@iao.ru;*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (Гос. контракты № 11.519.11.6033 и № 14.518.11.7063, Соглашение № 8325).

Лазерное зондирование атмосферы предлагает методы дистанционного определения профилей концентрации атмосферных газов, основанные на взаимодействии лазерного излучения с естественными атмосферными полями. Наибольшей чувствительностью среди этих методов обладает метод дифференциального поглощения и рассеяния (ДП).

С целью исследования динамики озона в районе тропопаузы в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в Томске (56.5 с.ш., 85.0 в.д.) разработан лидар для измерения вертикального распределения озона в верхней тро-

посфере-нижней стратосфере. Зондирование осуществляется по методу ДП [1]. Метод заключается в том, что в атмосферу одновременно посылаются лазерное излучение на двух длинах волн: одна из них ( $\lambda_{on}$ ) совпадает с линией или полосой сильного поглощения исследуемого газа, другая ( $\lambda_{of}$ ) – совпадает с более слабой линией, либо не поглощается совсем. Концентрация исследуемого газа определяется из отношения лидарных сигналов на этих длинах волн по соответствующим алгоритмам.

В разработанном нами лидаре зондирование осуществляется на паре длин волн 299/341 нм, которые соответствуют первой и второй стоксовым компонентам преобразования излучения четвертой гармоники излучения накачки Nd:YAG-лазера (266 нм) на основе эффекта вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) в водороде.

Лидарные измерения профилей вертикального распределения озона (ВРО) по методу ДП в различных высотных диапазонах атмосферы с разным содержанием озона осуществляются на различных комбинациях длин волн [2–5]. Нами проведены численные оценки возможностей зондирования ВРО в верхней тропосфере–нижней стратосфере на паре длин волн 299/341 нм [6]. При расчетах закладывались реальные параметры лидара: энергия излучения на обеих длинах волн 20 мДж; частота повторения лазерных импульсов 15 Гц; диаметр приемного зеркала 0.5 м; время накопления сигнала 1.5 ч. Для определения эффективности приемо-передатчика использовались реальные значения пропускания оптических элементов спектральной селекции и эффективности фотоэлектронных умножителей, шумы брались из реальных измерений. Расчеты показали, что при применении этих длин волн максимальная высота потолка зондирования составляет ~22 км (озоновый максимум в Томске расположен в высотном интервале 19–21 км), но при этом появилась возможность измерений озона в тропосфере. Ошибка определения концентрации озона находится в пределах 4–10% до высот ~20 км.

Максимальная высота зондирования определяется, прежде всего, дальностью регистрации сигнала на  $\lambda_{on}$ , которая всегда меньше, чем дальность регистрации сигнала на  $\lambda_{of}$  вследствие большего поглощения озоном. С этой стороны  $\lambda_{on} = 299$  нм предпочтительнее, чем в работах [2–5]. Кроме того, длины волн 299 и 341 реализуются в одном пучке зондирования (от одного лазерного источника), в отличие предлагаемых ранее схем. При этом система на основе ВКР-ячейки с водородом дешевле, чем на дейтерии.

Блок-схема разработанного лидара приведена в работе [7]. В качестве источника лазерного излучения используется 4-я гармоника (266 нм) основной частоты излучения Nd:YAG-лазера

с последующим ее преобразованием на основе эффекта ВКР в водороде в первую (299 нм) и вторую (341 нм) стоксовы компоненты.

Была определена эффективность ВКР-преобразования в зависимости от давления водорода в ячейке, которое в процессе эксперимента изменялось от 1 до 9 атм. Установлено, что при давлении водорода 2 атм. интенсивности линий 299 и 341 нм сравниваются, что дает возможность зондирования озона при равных значениях мощности зондирующего излучения. Однако для увеличения потолка зондирования, более эффективно использовать давление 1 атм., при котором энергия преобразования перераспределяется в пользу линии 299 нм, которая сильнее поглощается озоном, чем линия 341 нм.

Лидарные измерения проводились в октябре 2012 года. Сигналы регистрировались в режиме счета импульсов фототока по 25000 выстрелов (время накопления ~ 30 мин). Достигнутый потолок регистрации сигналов на длине волн 299 нм составил > 20 км.

Процедура восстановления профилей озона из лидарных данных выполнялась в два этапа. На первом этапе полученные лидарные сигналы подвергались процедуре сглаживания с использованием аппроксимирующих полиномов 7–9-го порядков [8]. На втором этапе проводилось восстановление профилей концентрации озона по алгоритмам [1]. Величина пространственного разрешения составляла 100 м. Сечения поглощения, используемые в расчетах, рассчитывались априори на основе модельных представлений о распределении термодинамических параметров атмосферы. Ошибка восстановления профилей концентрации озона в этом случае не превысила 10% до высоты 15 км по всей трассе зондирования. Проведено сравнение полученных профилей ВРО со среднеширотной моделью Крюгера [9]. Восстановленные и модельные профили достаточно хорошо совпадают, их различия являются естественными для динамики озона в отдельные дни наблюдений. Таким образом, результаты проведенных лидарных измерений на длинах волн 299 и 341 нм согласуются с модельными оценками, которые указывают на приемлемые точности зондирования озона в диапазоне высот ~ 5–20 км.

В настоящее время ведутся работы по оптимизации оптических и фотоэлектронных элементов системы регистрации лидарных сигналов с целью повышения потолка зондирования и улучшения точности измерений. Проведена замена преобразователя на основе кристалла КДР на преобразователь на основе кристалла ВВО, обладающий большей эффективностью и не требующий температурной стабилизации.

В заключение можно отметить, что для зондирования озона в области высот 5–20 км разработанный лидар на основе Nd:YAG-лазера предпочтительнее, чем лидары на основе экс-

имерного KrF-лазера, которые дороже, более сложны в эксплуатации, требуют особо чистых газов для рабочей смеси, частой очистки или замены резонаторной оптики.

#### Список литературы

1. Коллис Р.Т., Рассел П.Б. В кн.: Лазерный контроль атмосферы / Под ред. Хинкли Е.Д. М.: Мир, 1979. – С. 91–180.
2. Galani E., Balis D., Zanis P. et al. // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. № D12. P. STA12/1-STA12/10.
3. Masahisa Nakazato, Tomohiro Nagai, Tetsu Sakai, Yasuo Hirose. // Appl. Opt. 2007. V. 46. № 12. P. 2269.
4. Букреев В.С., Вартапетов С.К., Веселовский И.А. и др. // Квантовая электрон. 1994. – Т. 21. – № 6. С. 591.
5. Eisele H., Scheel H.E., Sladkovic R., Trickl T. // J. Atmos. Sci. 1999. V. 56. № 3. P. 319.
6. В.В. Зуев, В.Д. Бурлаков, С.И. Долгий, А.В. Невзоров // Оптика атмосферы и океана 2008. – Т. 21. – № 10. – С. 880-883.
7. Бурлаков В.Д., Долгий С.И., Макеев А.П., Невзоров А.В., Харченко О.В., Романовский О.А. // Приборы и техника эксперимента. 2010. – №5. – С. 121–124.
8. Крыев А.В., Лукин Г.В. Математические методы обработки неопределенных данных. М.: Изд-во Физматлит, 2003.
9. Kruerger A.J., Minzner R.A. // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. № D24. p. 4477.

### РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В НОЦ «ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ»<sup>1</sup>

Романовский О.А.

*Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева  
СО РАН, Томск, email: roa@iao.ru;  
Национальный исследовательский Томский  
государственный университет, Томск*

Интенсивность исследований и мониторинга атмосферы и гидросферы в мире и России, в частности, возрастает и стимулируется происходящими изменениями климата и загрязнения окружающей среды на планете в целом. Без знания процессов, происходящих в системе атмосфера – земная поверхность невозможно осуществить реалистичный прогноз этих изменений и найти возможные средства влияния на эти процессы. Этими причинами обусловлена актуальность выбранной темы исследований. Для решения этих проблем в мире реализуются программы создания аэрокосмических средств исследования атмосферы и земной поверхности (включая гидросферу), создаются сети наземных систем пассивного (по естественным источникам излучения) и активного (лидарного) зондирования атмосферы, проводятся самолетные измерения парниковых газов и аэрозоля для получения сведений о их пространственном распределении в тропосфере, тенденции изменения их концентрации и использования в современных глобальных и региональных моделях прогноза климатических изменений.

Научно-образовательный центр (НОЦ) «Физика атмосферы» создан в 2005 году на базе Ин-

ститута оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН и Национального исследовательского Томского государственного университета для решения следующих задач:

- подготовка и переподготовка научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации по основным направлениям деятельности ИОА СО РАН и смежных направлений;
- активизация участия молодых ученых, аспирантов и студентов в исследованиях по тематике НОЦ;
- привлечение талантливой молодежи к работам в научно-образовательном центре, включая обучение и стажировки студентов и аспирантов, закрепление их в сфере науки и высшего образования России, включая обеспечение создания рабочих мест для молодых специалистов;
- материальное обеспечение и организация научных экспериментов, в том числе, проводимых аспирантами и студентами учреждений – участников НОЦ.

В настоящее время в НОЦ «Физика атмосферы» проводятся исследования по следующим направлениям:

- совершенствование методов дистанционного мониторинга окружающей среды;
- мониторинг газового и аэрозольного состава приземного слоя воздуха и свободной атмосферы с помощью контактных и дистанционных средств;
- анализ пространственного распределения и временной динамики атмосферных параметров;
- мониторинг обмена углекислым газом между водной поверхностью (оз. Байкал) и атмосферой;
- мониторинг лесных пожаров на территории Сибири.

Для выполнения этих задач используются полигоны, уникальные стендовые установки (УСУ) и обсерватории, принадлежащие ИОА СО РАН.

Первая станция мониторинга была создана в ИОА СО РАН в 1992 г. в рамках проекта TOR по исследованию тропосферного озона (Tropospheric Ozone Research) Международной программы EUROTRAC [1]. По мере развития, связанного с участием ИОА в различных российских и других международных программах, приборная база станции постоянно расширялась. В настоящее время на TOR-станции измеряется более 40 различных параметров. Станция оснащена оригинальными системами ежечасной автоматической калибровки газоаналитического оборудования эталонными поверочными смесями в соответствии с мировыми требованиями. К настоящему моменту временные ряды по концентрации озона и дисперсного состава аэрозоля, солнечной радиации насчитывают 20 лет. Более чем десятилетние ряды имеются для CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>.

Сотрудники Байкальской атмосферно-лимнологической обсерватории имеют многолетний опыт в проведении исследований химического

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (Гос. контракты № 11.519.11.6033 и №1 4.518.11.7063, Соглашение № 8325).