

И.Г. Шурыгин, Н.С. Белокриницкий, В.М. Лагутин, В.Н. Соболев

УФ-ЛИДАР ДЛЯ ОЗОНОЗОНДИРОВАНИЯ

Акцентируется внимание на медико-биологический аспект проблем контроля озона, описывается схема одночастотного лидара на эксимерном лазере и предварительные результаты зондирования озона в курортной зоне Туапсе.

Решение проблем охраны окружающей среды требует создания новых систем дистанционного контроля антропогенного воздействия на стратосферу SO_2 , аэрозолей и других примесей, которое значительно влияет, в частности, на изменение концентрации атмосферного озона. Исследование атмосферного озона актуально с геофизической точки зрения, так как озон определяет энергетический баланс в стратосфере, влияет на ее термодинамический режим.

Как известно, озоновый слой как поглотитель ультрафиолетового излучения Солнца защищает от разрушительного воздействия объекты растительного и животного мира. Антропогенное влияние деятельности человека, приводящей к изменению концентрации озона в столбе, требует организации регулярного глобального контроля его распределения, в том числе высотного распределения (ВРО). Успешное решение этой проблемы позволит производить комплексные исследования с точки зрения медицины и биологии, особенно в период повышенной солнечной активности, когда из-за образования «озонодыр» различного масштаба значительные потоки ультрафиолетового излучения поддиапазона Б (УФБ) 290–300 нм могут достигать поверхности Земли. Поток излучения именно этого диапазона волн, как оказалось, наносит наибольший вред здоровью человека. Обнаружена особая роль клеток Лангерганса в условиях формирования иммунных ресурсов человека, а также каналов квантового воздействия на внутренние органы УФБ спектра солнечного и искусственного лазерного излучения.

Программа медико-биологических и экологических исследований и первые результаты лазерного зондирования ВРО в курортной зоне Туапсе были представлены нами на 10 Всесоюзном симпозиуме по лазерному и акустическому зондированию (Томск, 1988 г.) и на Всесоюзной конференции по экологическому контролю воздушной среды курортных зон (Кисловодск, 1989 г.).

Известны химические и оптические, прямые и пассивные методы изучения УФБ излучения Солнца у Земли во взаимосвязи с данными о концентрации озона, получаемыми при помощи озонозондов на ракетах – баллонах, озонметров, уфиметров, СВЧ- радиометров и т. д. Практически все известные методы измерения атмосферного озона на любой выбранной трассе не позволяют получать оперативную информацию с высоким пространственным разрешением.

Первые работы по использованию лазерного зондирования для определения озона в стратосфере были проведены в 1977 г. с использованием лидара дифференциального поглощения (ЛДП) при исследованиях ВРО [1]. В Советском Союзе аналогичные работы впервые произведены в Центральной аэрологической обсерватории. Применялась схема лазера на органическом красителе с перестройкой в диапазоне от 580 до 630 нм и последующим удвоением частоты излучения в кристалле КДП. Источником накачки служил мощный лазер на неодимовом стекле с удвоением частоты, и для получения требуемой мощности порядка 1 ГВт использовалась система генератор – усилитель [2].

Основная масса атмосферного озона локализована на высотах 15–25 км, а содержание его в тропосфере сравнительно невелико. Поэтому соответствующим выбором частоты зондирующего излучения можно добиться достаточного (для измерений) поглощения в стратосфере, при относительно высокой прозрачности нижележащих слоев воздуха. Для этой цели наиболее подходит область спектра, где сечение поглощения озона меняется в широких пределах (290–310 нм).

При разработке ЛДП большое внимание уделяется как созданию наиболее гибкой диапазонной системы для исследования эффектов, влияющих на чувствительность измерений для разных высот, так и методам обработки данных зондирования.

В экспериментах [1, 2] использовались две близлежащие длины волны, выбранные в спектральных участках с различными коэффициентами поглощения зондируемого газа. Часто применение этого метода связано с большими трудностями, т. к. невозможно подобрать лазерные источники требуемой энергии с нужными спектрально-энергетическими характеристиками. В этом случае нередко применяется зондирование на одной основной длине волны, которая попадает в спектральную полосу поглощения газа. При этом уровень поглощения аэрозолями оценивается из данных измерений на разнесенной с основной вспомогательной длине (например, 553 нм [3]) волны излучения, не испытывающего поглощения озоном и другими атмосферными газами.

В настоящей статье приведены предварительные результаты зондирования озона на разнесенных длинах волн 308 и 589 нм. Выбор длин волн обусловлен использованием эксимерного ХеСl-лазера и дополнительного лидара на красителе [4].

Известно, что зависимость величины сигнала на выходе фотоприемника лидара от высоты зондирования R в дальней зоне определяется уравнением лазерной локации

$$N(R) = W_0 AK\beta_{\pi\lambda}(R) R^{-2} \exp \left\{ -2 \int_0^R [n_{O_3}(R) \sigma_{O_3}(\lambda) dR - 2 \times \right. \\ \left. \times \int_0^R \alpha_a(R; \lambda) dR - 2 \int_0^R \alpha_m(R; \lambda) dR] \right\}, \quad (1)$$

где W_0 – энергия лазера; A – площадь приемной антенны; K – эффективность приемно-передающей системы; $\beta_{\pi\lambda}$ – полный объемный коэффициент рассеяния атмосферного воздуха; α_a , α_m , n_{O_3} , σ_{O_3} – сечение аэрозольного, молекулярного, озонного поглощения соответственно. Экспоненциальный член характеризует поглощение УФ-излучения на пути распространения. Из формулы (1) при условии зондирования на одной длине волны можно получить соотношение для оценки концентрации озона n_{O_3} , которое имеет вид

$$n_{O_3}(R) = - \frac{d}{dR} \left\{ \ln \frac{N(R) R^2}{W_0 AK\beta_{\pi\lambda_1}(R) T_a^2 T_m^2} \right\} [2\sigma_{O_3}(\lambda_1; T)]^{-1}, \quad (2)$$

где T – температура; dR – высотный интервал; $\sigma_{O_3}[T(R); \lambda_1]$ – сечение поглощения молекулы озона и $N(R)$ – полный сигнал на длине волны $\lambda_1 = 308$ нм; T_m^2 , T_a^2 – функции пропускания излучения за счет молекулярного и аэрозольного поглощения.

Исходя из (2) производился расчет профиля концентрации озона на высоте на основе результатов измерений.

Лидарный метод является наиболее эффективным методом измерения высотного хода концентрации озона, так как позволяет получить высотное разрешение до 0,1 км и следить за изменением слоя во времени. Как видно из схемы примененного лидара (рис. 1), излучаемый импульс от эксимерного ХеСl-генератора 1 с помощью поворотного зеркала 12 излучается вертикально вверх. Исследования расходимости лазера показали, что 80% энергии его сосредоточены в угле примерно в 4 мрад. Рассеянный сигнал поступает на зенитный приемный телескоп 13 с зеркалом диаметром 0,7 м (собранный по схеме Ньютона), отделяется от фона интерференционным фильтром Φ полосой 10 нм и поступает на фотоприемник 4 типа ФЭУ-136. Для уменьшения помех обратного рассеяния применялся механический обтюратор 8. Электрический сигнал с ФЭУ в виде последовательности импульсов отдельных фотоэлектронов, предварительно усиленный в 5, подается на многоканальную систему регистрации 10 с минимальным высотным интервалом $\Delta R = 0,5$ км [4]. Для формирования сигналов запуска ХеСl-лазера и регистратора используются синхронимпульсы кварцевого генератора, находящегося в блоке 9, и сигналы от фотодиодов ФД1 и ФД2. В качестве аппаратуры отображения и документирования 11 применялся графический дисплей (для контроля процесса измерения, а также фотографирования высотных профилей сигнала) и кассетный цифровой магнитофон. Источником УФ-излучения служил электроразрядный ХеСl-лазер с энергией в импульсе 0,1 Дж, длительностью 30 нс и частотой повторения 0,5 Гц.

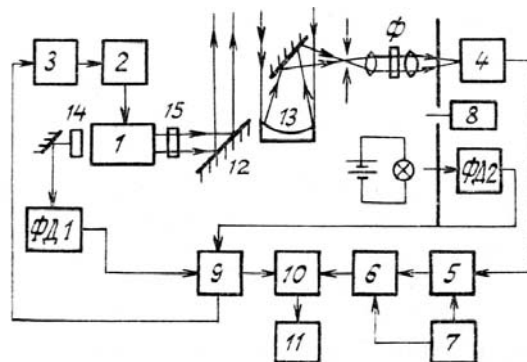


Рис. 1. Схема лидара: 1 – эксимерный ХеСl-лазер; 2 – система энергоснабжения; 3 – система управления и запуска; 4 – фотоэлектронный умножитель; 5 – предусилитель; 6 – схема формирования высотных интервалов; 7 – блок питания; 8 – двигатель обтюратора; 9 – блок стробирующих импульсов; 10 – многоканальный регистратор; 11 – аппаратура отображения и регистрации; 12 – поворотное зеркало; 13 – зенитный приемный телескоп; 14, 15 – зеркала ХеСl-лазера; Φ – интерференционный фильтр; ФД1, ФД2 – фотодиоды

С учетом того, что эффективное сечение молекулярного и аэрозольного поглощения на волне 308 нм $5,8 \cdot 10^{-26} \text{ см}^{-2}$ значительно меньше сечения поглощения озона $1,3 \cdot 10^{-19} \text{ см}^{-2}$, ошибка в интервале высот 15–20 км за счет аэрозольного и молекулярного поглощения будет составлять не более нескольких процентов. Этот результат получен также по данным одновременного зондирования на $\lambda_2 = 589 \text{ нм}$.

На основе модели стандартной атмосферы и данных молекулярного рассеяния на длинах волн 308 и 589 нм были получены профили озона до высоты 30 км. Исследования проводились в лаборатории лазерного зондирования атмосферы Харьковского института радиоэлектроники в 1986 г. (г. Туапсе). Результаты предварительных измерений представлены в виде графиков (рис. 2, 3). Максимум концентрации озона $6,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ получен на высотах 22–24 км, концентрация уменьшается в 1,5–2 раза на высоте 30 км по сравнению с ее значениями в максимуме. С использованием аналогичной методики измерения проводятся в Томске [5, 6].

В заключение можно отметить, что дальнейшие перспективы измерений ВРО связаны с совершенствованием лидарных систем путем использования высокостабильных источников УФ-излучения с большим ресурсом работы (10^8 имп.), какими являются лазеры на галогенидах инертных газов с высокой средней мощностью (1–40 Вт). Значительный прогресс достигнут в разработке перестраиваемых лазеров на красителях с ламповой накачкой, которые могут составлять конкуренцию эксимерным.

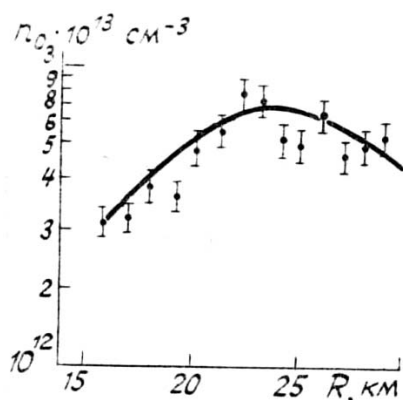


Рис. 2. Высотное распределение озона

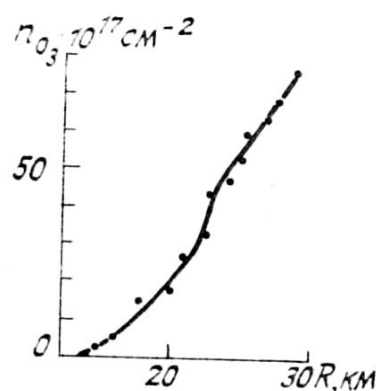


Рис. 3. Концентрация озона в столбе

Основной недостаток одночастотного зондирования с использованием ХеСI-лазера обычно устраняют путем формирования дополнительной длины волны излучения методом комбинационного преобразования его излучения на ячейке (из водорода, аммиака).

Представляется также перспективным создание УФ перестраиваемого лазера зля озонолидара на основе кристалла из сапфира титана с утроением длины волны. Применение таких УФ-лазеров в бортовых лидарах для получения пространственных характеристик ВРО связано с лучшими, чем у эксимерных [7], массогабаритными, энергетическими и технологическими характеристиками, что должно быть учтено при реализации экологических программ, решаемых с помощью лидаров.

1. Magie G., Allain J.V., Chanin M.L., Blamont J.E. // Nature. 1977. V. 270. P. 329–331.
2. Костко О.К., Смирнов Н.Д. // Труды ЦАО. 1979. Вып. 138. С. 32–47.
3. Uchino O., Maeda M., Yamamura H., Hirono M. // J. Geoph. Res. 1983. V. 88. № 9. P. 5273–5280.
4. Зарудный А.А., Мегель Ю.Е., Лагутин М.Ф. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 6. С. 83–89.
5. Зуев В.Е., Макушкин Ю.С., Маричев В.Н., Мицель А.А., Самохвалов И.В., Соснин А.В. // ДАН. 1981. Т. 257. № 6. С. 1338–1341.
6. Ельников А.В., Зуев В.В., Маричев В.М., Царегородцев С.И. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 9. С. 995–996.
7. Козинцев В.И., Костко О.К., Константинов Б.А. // Труды IX Всесоюз. симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Ч. 1, Томск: ТФ СО АН СССР, 1987. С. 461–463.

Харьковский институт радиоэлектроники
им. акад. М.К. Янгеля

Поступила в редакцию
11 марта 1990 г.

I.G. Shyryguin, N.S. Belokrinitsky, W.M. Lagutin, W.N. Sobolev. **The UV Lidar for Ozone Sensing.**

The present paper is concerned with the mediko-byological aspect of the ozone control problem, the scheme of the monofrequent lidar on eximer laser is described and the preliminary results of the ozone sounding over the region of the health resort Tuapse are given.