

Г.Г. Матвиенко, О.В. Харченко, Т.А. Ярчук

**ВЫБОР ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИДАРНЫХ СИСТЕМ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В БЕЗОПАСНОЙ ДЛЯ ГЛАЗ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

Проанализирована роль атмосферных газов в поглощении оптического излучения в диапазоне 1,5 – 2,1 мкм. Выделены микроокна прозрачности, оптимальные для лазерного зондирования. Обоснована перспективность лазеров на парах ионов Tm, Ho и Nd со смещением в ячейках ВКР.

Необходимость соблюдения требований в соответствии с международными стандартами здравоохранения к lidarам [1], предназначенным для контроля окружающей среды, приводит к целесообразности использования лазерных источников с длиной волны, превышающей 1,4 мкм, т. е. попадающей в область спектра, безопасную для глаз. Лазерная техника предлагает ряд возможностей получения излучения в указанном диапазоне: новые рабочие среды Er, Yb: YAG; Er, Yb: Glass; Er: CAS (область генерации 1,5 – 1,6 мкм); Tm, Ho, Cr: YAG; Tm, Ho: YLF; Tm, Ho: GdVO<sub>4</sub>; Tm, Ho: CAS (1,9 – 2,1 мкм); GaInAsSb (1,8 – 2,5); ячейки вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР), параметрические генераторы и др. [2, 3].

Однако известно [4, 5], что этот участок спектра насыщен линиями поглощения распространенных атмосферных газов (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, O<sub>2</sub> и др.), поэтому возникает задача обоснованного выбора длины волны излучения лидаров, для которых поглощение атмосферными газами было бы минимальным.

В данной статье осуществляется анализ свободных от поглощения участков спектра в диапазоне 1,5 – 2,1 мкм для систем лазерного зондирования параметров атмосферы. Анализ производится на основе исследования спектров пропускания газовой атмосферы и может служить основой для выбора передающих систем лидаров и других лазерных устройств, работающих в атмосфере в условиях минимизации потерь.

Оценка спектров пропускания атмосферы проводилась для приземной трассы протяженностью 1 км. Спектроскопические данные взяты из атласа GEISA [6], метеопараметры – из модели МакКлатчи для лета средних широт [7].

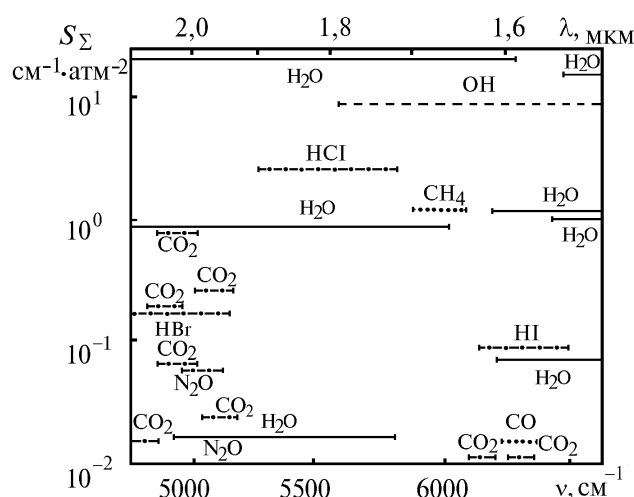


Рис. 1. Положение и суммарная интенсивность полос поглощения атмосферных газов в диапазоне спектра 1,5 – 2,1 мкм

По данным атласа [6], содержащего информацию по 37 газам, в исследуемый диапазон спектра попадают полосы поглощения следующих газовых компонентов:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  и  $\text{OH}$ . На рис. 1 указаны положение и суммарная интенсивность полос поглощения перечисленных выше газов. Следует отметить, что линии  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{OH}$  встречаются практически на протяжении всего исследуемого диапазона, поэтому на рис. 1 приведены только наиболее интенсивные полосы поглощения этих газов.

Основными поглощающими компонентами, как видно из рис. 1, в исследуемом диапазоне являются водяной пар и углекислый газ. Колебательно-вращательные полосы водяного пара, группируясь, образуют в спектре мощную полосу поглощения с центром  $\sim 1,87$  мкм. При средней влажности для лета средних широт  $14 \text{ г/м}^3$  эта полоса почти полностью поглощает излучение на участке спектра  $1,77 - 1,94$  мкм. Интенсивные линии водяного пара расположены также в диапазоне  $1,50 - 1,53$  мкм, куда попадает крыло мощной полосы поглощения с центром  $\sim 1,38$  мкм. Углекислый газ в исследуемой области спектра имеет совокупности полос, группирующихся в комплексные полосы поглощения с центрами  $1,6$  и  $2,0$  мкм, что затрудняет выбор микроокон прозрачности в диапазонах  $1,57 - 1,61$ ;  $1,95 - 2,03$  и  $2,05 - 2,07$  мкм.

Таким образом, в диапазоне  $1,5 - 2,1$  мкм целесообразно выделить следующие участки спектра, перспективные для лазерного зондирования:  $1,53 - 1,57$ ;  $1,61 - 1,77$ ;  $2,03 - 2,05$  и  $2,07 - 2,10$  мкм.

Наличие полосы поглощения метана с суммарной интенсивностью  $1,27 \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$  ограничивает выбор микроокон прозрачности атмосферы в диапазоне  $1,64 - 1,70$  мкм.

Спектр  $\text{OH}$  имеет сложную структуру и чрезвычайно богат линиями поглощения, но все они имеют малую интенсивность (от  $10^{-27}$  до  $10^{-64}$  см/мол). Исключением являются только линии полосы основного обертона с центром в районе  $1,50$  мкм. Суммарная интенсивность этой полосы составляет  $8,97 \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$ , но ввиду малой концентрации в нижней атмосфере  $\text{OH}$  не вносит существенного вклада в ослабление лазерного излучения.

Хлороводород в исследуемой области спектра имеет одну полосу поглощения в районе  $1,72 - 1,90$  мкм. Ее суммарная интенсивность составляет  $2,65 \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$ . Отдельные линии этой полосы отстоят друг от друга на расстоянии  $0,03 - 0,05$  мкм, что позволяет проводить выбор микроокон прозрачности.

Аналогичную структуру имеют спектры бромоводорода и иодоводорода. Их полосы поглощения попадают в диапазон  $1,94 - 2,12$  и  $1,53 - 1,62$  мкм соответственно. Существенных ограничений на выбор микроокон прозрачности спектры этих газов не оказывают ввиду слабой интенсивности их линий и малой концентрации этих газов в атмосфере.

В исследуемый диапазон спектра попадают также слабые полосы поглощения закиси азота и окиси углерода. Проведенные расчеты показали, что при модельных значениях концентраций  $n_{\text{N}_2\text{O}} = 0,5$  и  $n_{\text{CO}} = 1$  ppm этих газов в поглощении лазерного излучения составляет  $\sim 0,03\%$ .

Суммарная интенсивность полосы поглощения кислорода, расположенной в диапазоне  $1,56 - 1,59$  мкм, чрезвычайно мала ( $2,8 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$ ), поэтому, даже несмотря на значительные концентрации в атмосфере ( $209\,000$  ppm), кислород не вносит существенного вклада в поглощение лазерного излучения в этом диапазоне.

Рассмотрим более подробно выделенные участки спектра. Участок спектра с наиболее интенсивными линиями диапазона  $1,53 - 1,57$  мкм представлен на рис. 2, а. Этому спектральному интервалу соответствует излучение лазеров на основе  $\text{Er}$ ,  $\text{Yb}$ :  $\text{YAG}$ ;  $\text{Er}$ ,  $\text{Yb}$ :  $\text{Glass}$ ;  $\text{Er}$ :  $\text{CAS}$ ; а также ячеек ВКР с газами  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$  или  $\text{CH}_4$ , возбуждаемых широко распространенным лазером на  $\text{Nd}$ :  $\text{YAG}$  [2, 3]. Как видно из рисунка, в данном участке присутствуют только отдельные узкие линии поглощения, возможное влияние которых легко может быть исключено подстройкой частоты генерации лазеров.

На рис. 2, б, в представлены спектры пропускания атмосферы в области генерации твердотельных лазеров на ионах  $\text{Tm}$ ,  $\text{Ho}$ ,  $\text{Cr}$ . Из рисунков видно, что в выделенных участках присутствуют отдельные, в том числе интенсивные линии поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$ . Однако при этом всегда возможен выбор микроокон прозрачности, практически свободных от поглощения атмосферными газами.

Проведенные расчеты подтверждают перспективность ряда существующих лазерных источников для зондирования в безопасной для глаз области спектра и позволяют конкретизировать длину волны излучения в выделенных участках спектра. При этом необходимо отметить,

что анализ касается наиболее распространенных газов и не охватывает многие промышленные и технологические газы, оценка влияния которых требует особого рассмотрения.

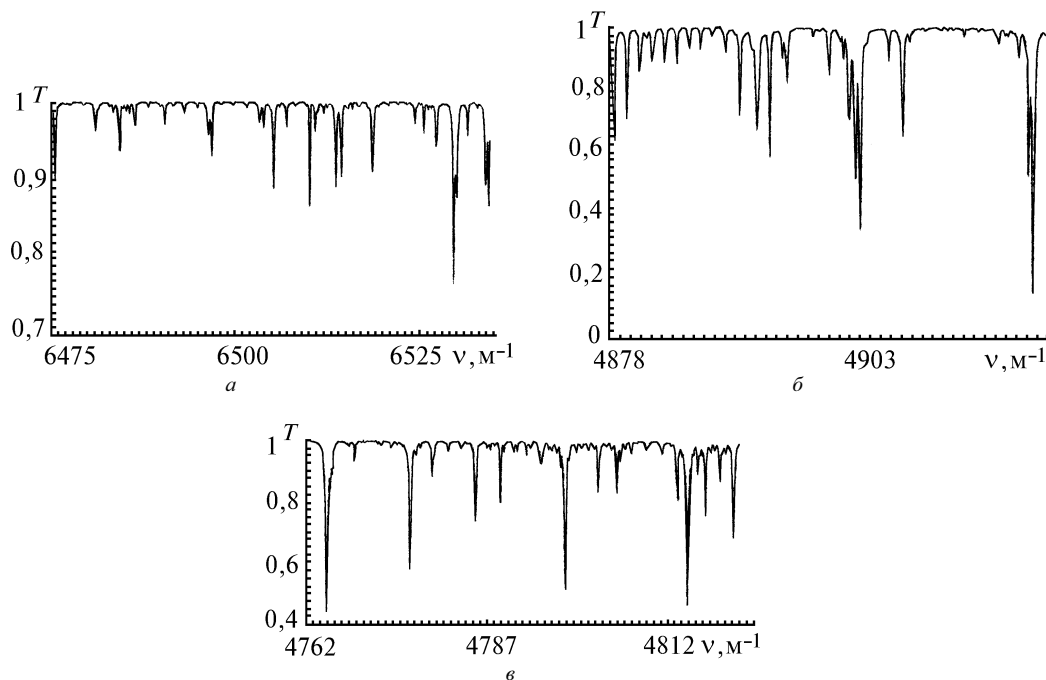


Рис. 2. Спектр пропускания атмосферы в окне прозрачности: *a* – в диапазоне 1,53 – 1,57; *б* – 2,03 – 2,5 и *в* – 2,07 – 2,1 мкм

1. Lasers and optical radiation. Environmental health criteria, 23. world health organization, Geneva, 1982, 154 p.
2. Third international lidar researchers directory. Compiled by M.P. McCormick, NASA Langley Research Center, Hampton, Va, 1993, 192 p.
3. 1994 Conference on lasers and Electro-optics Europe, Amsterdam, The Netherlands, 1994, 604 p.
4. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. М.: Сов. радио, 1970. 496 с.
5. Зуев В.Е., Макушкин Ю.С., Пономарев Ю.Н. Спектроскопия атмосферы. Л.: Гидрометеозиздат, 1987. 247 с.
6. Husson N., Chedin A., Scott N.E. et al. The Geisa spectroscopic line parameters data bank in 1984. Annales geophysical, fasc. series AM, 1986. P. 185–190.
7. McClatchey R.A., Fenn R.W., Selby J.E.A. et al. Optical properties of the atmosphere. Report AFCRL-71-0297, AFCRL, Bedford, Mass., 1971, 86 p.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
4 апреля 1995 г.

G.G. Matvienko, O.V. Kharchenko, T.A. Yarchuk. **Deciding of Wavelength for Lidar Systems Radiation Operating within Eye-safe Spectral Range.**

The role of atmospheric gases absorption in optic radiation was analyzed in range 1,5–2,1 μm. The transmission windows were distingwished. The potentiality of Tm, Ho and Nd ione lasers with shift in cells of stimulated Raman scattering was justifiend.