

Лазерные методы детектирования веществ

1. Использование ИК газоанализаторов (ГА)

Среди основных достоинств недисперсионных ГА можно выделить широту диапазона измеряемых концентраций от 10^2 до $10^{-4}\%$ при точности измерений не хуже 0.5%, малую инерционность при относительной простоте конструкции

Для калибровки ИК ГА используются либо эталонные смеси, либо образцовые приборы. ГА являются в большинстве случаев достаточно компактными приборами и поэтому могут устанавливаться на различных транспортных средствах

2. Использование искусственных спутников Земли

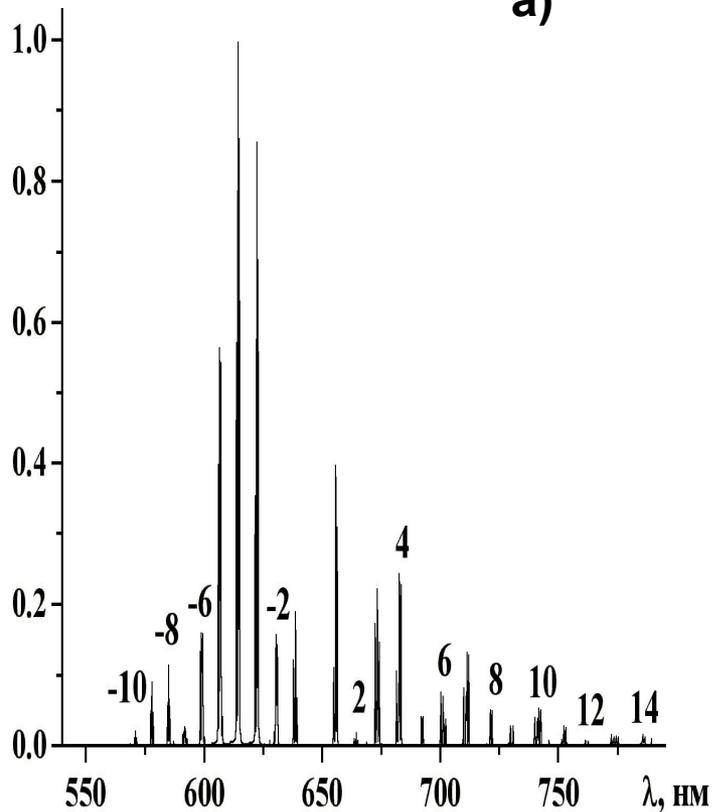
Для определения интегрального содержания вредных веществ в вертикальном столбе атмосферы может использоваться лазерный абсорбционный метод по схеме: Земля-ИСЗ, ИСЗ-Земля, Земля-ИСЗ-Земля и ИСЗ-Земля-ИСЗ.

Одним из перспективных вариантов практической реализации является использование газовизоров. С помощью газовизора осуществляются измерения общего содержания газов на линии визирования прибора при наблюдении в направлении, близком к надиру на фоне земной поверхности

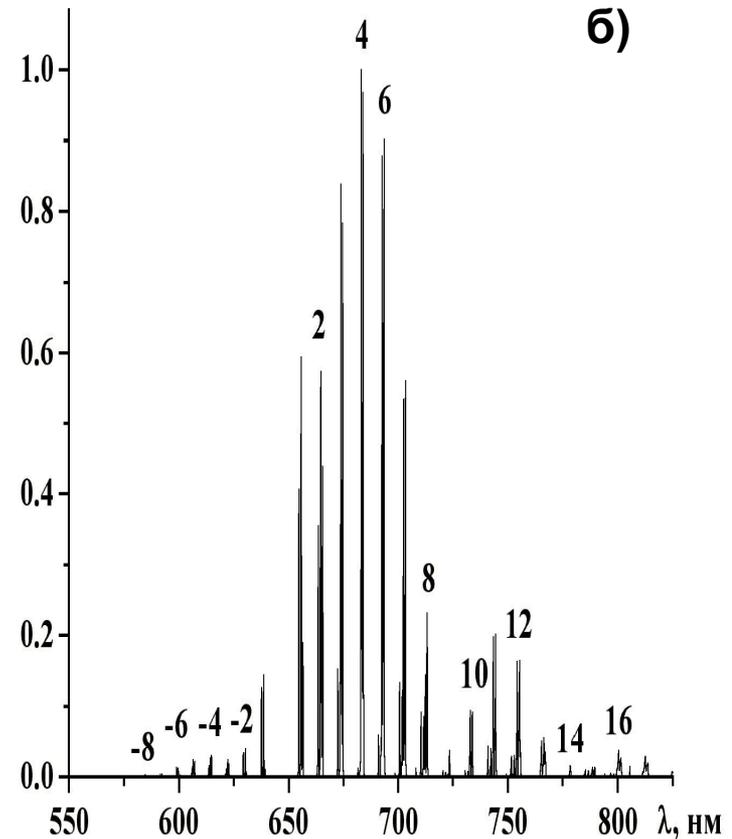
Лазерные методы детектирования веществ

Использование флуоресцентного метода

F , отн. ед.



F , отн. ед.



Спектры флуоресценции $^{127}\text{I}_2$ (а) и $^{127}\text{I}_2$ (б), возбуждаемые Кг лазером

**Лазерные методы детектирования веществ
Использование флуоресцентного метода**

Детектирование молекулярного йода в атмосфере

Способ 1 основан на использовании лазерно-флуоресцентного метода на базе частотно-перестраиваемого He-Ne лазера на длине волны 633 нм

Частотная перестройка длины волны излучения лазера позволяет селективно возбуждать флуоресценцию либо йода-127, либо-129 и таким образом измерять концентрации этих изотопов, находящихся в атмосферном воздухе в смеси друг с другом

В способе 2 используется Kr лазер на длине волны 647.1 нм

Способ основан на том, что для йода-127 спектральные линии с наибольшей интенсивностью флуоресценции расположены в антистоксовой области, а для йода-129 – в стоксовой

Величины граничных отношений концентраций йод-129/йод-127 и йод-129/йод-127 составляют 10^{-4}

Лазерные методы детектирования веществ

Использование флуоресцентного метода

Соотношения интенсивностей в стоксовой и антистоксовой областях для разных изотопов йода

| | Антистоксовая область | Стоксовая область | Суммарная интенсивность |
|---|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Йод-127 | 15 | 5 | 20 |
| Смесь изотопов | 1 | 18.5 | 19.5 |
| Отношение интенсивности йод-127/смесь изотопов | 15 | 0.27 | 1.03 |

Лазерно-флуоресцентный метод детектирования изотопов йода в атмосфере является простым, поскольку позволяет использовать обычные серийно выпускаемые лазеры

Лазерные методы детектирования веществ

Использование метода комбинационного рассеяния

Имеются численные решения лидарного уравнения для обратного КР различных изотопов йода, включая глобальный радионуклид йод-129, для длин волн излучения ряда лазеров: неодимового, рубинового, на парах меди и эксимерного (XeCl)

Получены оптимальные длины волн зондирующего излучения для обнаружения минимально возможной концентрации молекулярного йода

Использование лазеров с мощностью порядка 10 МВт, излучающих на выбранных длинах волн, позволит зарегистрировать концентрацию молекул йода на уровне 10^{13} см⁻³, тогда как для такой же мощности на других волнах значение регистрируемой концентрации составляет 10^{15} - 10^{16} см⁻³

При высокой частоте следования импульсов имеется возможность без потери пространственного разрешения повысить мощность КР в режиме накопления сигнала по N импульсам в $N^{1/2}$ раз

Лазерные методы детектирования веществ

Лидарные методы

Сибирская лидарная станция (СЛС) Института оптики атмосферы СО РАН сформирована на базе двух стационарных лидарных комплексов

В качестве передатчиков излучения в лидарах в параллельном режиме используются лазерные источники, излучающие на длинах волн в ультрафиолетовом (эксимерные ХеСl лазеры) и видимом (Nd:ИАГ лазер) спектральных диапазонах

Наряду с крупногабаритными телескопами дополнительно используются телескопы меньшего диаметра – 0.5 и 0.3 м

Длиннофокусный телескоп с зеркалом 2.2 м обеспечивает регистрацию лидарных сигналов в диапазоне высот 30-60 км, телескоп с диаметром зеркала 1 м – в диапазоне 15-40 км, телескоп с диаметром зеркала 0.5 м – в диапазоне 10-30 км, телескоп с диаметром зеркала 0.3 м – в диапазоне 6-15 км

Отсечка сигналов из атмосферных слоев ниже указанных диапазонов высот осуществляется активно с помощью механических отсекателей либо пассивно за счет большой базы передатчик – приемник

Лазерные методы детектирования веществ
Параметры лидара СЛС

| Параметры лидара | Характеристики | | | |
|---|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Диаметр зеркала, м | 2.2 | 1 | 0.3 | 0.5 |
| Фокусное расстояние, м | 10 | 2 | 1.5 | 1.5 |
| Длина волны зондирования, нм | 308/353 | 308/353 | 308/353 | 532/683 |
| Энергия импульса, мДж | 80/20 | 80/20 | 80/20 | 100/50 |
| Частота следования, Гц | 50-200 | 50-200 | 50-200 | 20 |
| Высотный диапазон зондирования, км | 30-60 | 15-40 | 6-15 | 10-30 |
| Максимальная ошибка измерения, % | 10 | 10 | 15 | 7 |

Лазерные методы детектирования веществ Области применения различных методов

1. Предельно допустимые концентрации в рабочей зоне предприятий, как правило, лежат для различных вредных веществ в диапазоне 1-100 ppm. Для контроля таких концентраций целесообразно использовать инфракрасные газоанализаторы как наиболее простые, компактные, дешевые и надежные устройства. Одним из наиболее подходящих методов является абсорбционный. Для калибровки этих устройств необходимо использовать поверочные газовые смеси, что является их определенным недостатком

2. В воздушных бассейнах населенных пунктов величины предельно допустимых концентраций вредных веществ составляют $10^{-3} - 10^{-1}$ ppm. Для детектирования этих веществ представляется перспективным использование лазерных газоанализаторов на основе методов флуоресценции и КР. При необходимости обеспечения селективности измерений возможно использование лазеров, излучающих на нескольких длинах волн.

Лазерные методы детектирования веществ Области применения различных методов

- 3. Метод КР имеет хорошие перспективы для измерения концентраций загрязняющих веществ, находящихся на больших расстояниях (более 100 м) до источника. Одним из наиболее существенных преимуществ данного метода является обеспечение комплексного анализа с определением содержания сразу нескольких компонент. Наилучшая чувствительность достигается при гетеродинном приеме собственного излучения**
- 4. При расстояниях до источника порядка или более километра и при концентрациях вредных веществ на уровне 10^{-3} ppm могут успешно использоваться методы резонансного КР либо лидарный абсорбционный метод. При измерении более низких концентраций эффективными являются интегральные методы, в частности, лазерный абсорбционный метод с использованием трасс длиной в несколько километров**
- 5. Локальные измерения с помощью лазерных спектрометров, расположенных на летательных аппаратах, позволяют проводить измерения концентраций 10^{-4} – 10^{-2} ppm практически с любым разрешением по высоте в любое время суток**

Лазерные методы детектирования веществ

Области применения различных методов

6. Лазерная локация поверхности Земли с приемом отраженного сигнала на летательном аппарате, совершающим полет либо на постоянной, либо на переменной высоте, дает возможность проводить измерения профиля концентраций на уровне $10^{-4} - 10^{-1}$ ppm в диапазоне высот 0-30 км также в любое время суток

7. Метод резонансной флуоресценции при лазерном зондировании атмосферы с поверхности Земли позволяет регистрировать вредные вещества (в частности, пары металлов) на высотах до 100 км с чувствительностью 10^4 см⁻³