

УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ВОДНЫХ ТУМАНОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМУЛЬСА ИЗЛУЧЕНИЯ CO₂-ЛАЗЕРА

*Н.Н.Белов, К.А.Давыдов, Н.П.Дацкевич, Н.В.Карлов,
Н.Н.Кононов, Г.П.Кузьмин, А.Е.Негин, А.А.Нестеренко,
А.В.Пахомов, А.М.Прохоров*

Обнаружено явление ускоренного осаждения водных туманов, вызванное акустическим возмущением при воздействии на туманы импульсного CO₂-лазера в диапазоне плотностей энергий 0,8 – 3,2 Дж/см², при длительности импульса излучения ~ 1 мкс.

Эффекты, обусловленные воздействием излучения CO₂-лазера на водяные частицы искусственных туманов и природных облаков ^{1,2}, в том числе испарение частиц в поле импульсного излучения и образование канала просветления ³, достаточно хорошо изучены. Показано, что при воздействии излучения на частицы водных туманов в определенных условиях

в области распространения луча изменяется вид функции распределения частиц по размерам^{2,4}. При этом изменение спектра размеров частиц происходит либо за счет фрагментации капель при их тепловом взрыве, либо за счет конденсации паров испаряющихся в поле излучения капель. По данным работы³ просветление водных туманов возникает при плотностях энергии импульсного десятимикронного излучения $6 \div 20 \text{ Дж/см}^2$.

В этой работе обнаружен эффект увеличения скорости седиментации искусственных водных туманов за счет акустического возмущения, создаваемого в аэрозольной среде излучением импульсного CO_2 -лазера. Особенностью эффекта является то, что возникает он при плотностях энергии значительно более низких по сравнению с образованием канала просветления, и существенно позже прохождения возмущающего лазерного импульса.

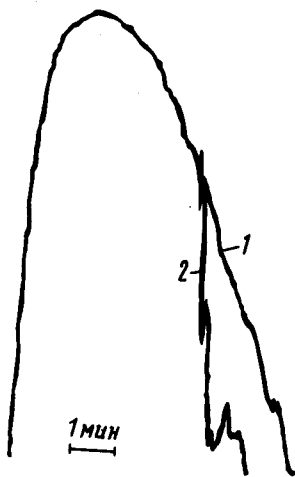


Рис. 2. Возникновение ослабления излучения He – Ne-лазера на оси пучка излучения CO_2 -лазера: 1 – импульс излучения CO_2 -лазера, 1 мкс, $3,2 \text{ Дж/см}^2$, 2 – уровень мощности излучения He – Ne-лазера, проходящей через аэрозоль, отн. ед.

Исследовалось влияние возмущения, создаваемого излучением мощного импульсного CO_2 -лазера ЛАД-2⁵ на частицы искусственных водных туманов, находящихся вне области распространения лазерного луча. При распространении десятимикронного излучения в водных туманах часть энергии лазерного импульса поглощается частицами и идет на нагрев газа. При этом в области пучка генерируется акустическое возмущение⁶. До момента действия излучения система водяные частицы – насыщенный пар находится в состоянии термодинамического равновесия. При возникновении акустического возмущения повышается парциальное давление паров воды, что приводит к нарушению равновесия между паром и частицами воды и к конденсации пара на поверхности частиц. Это, в свою очередь, приводит к укрупнению частиц и увеличению скорости их оседания.

Для контроля изменения дисперсной фазы проводилось зондирование туманов, получаемых в камере из оргстекла размером $1,8 \times 1 \times 1 \text{ м}^3$, излучением двух He – Ne-лазеров, один из которых просвечивал область камеры вдоль оси трубчатого CO_2 -лазерного излучения, а второй – параллельно пучку CO_2 -лазера на расстоянии 22 см от его оптической оси. Чтобы избежать влияния дефокусировки зондирующего излучения за счет возможного образования тепловых или акустических линз,⁶ излучение первого лазера фокусировалось на фотодиод. Постоянная времени регистрирующего канала составляла $\sim 10^{-5} \text{ с}$. Интенсивность второго зондирующего луча регистрировалась фотоприемной системой с записью на ленте самописца с большой постоянной времени. Регистрирующие системы первого и второго лучей в ходе экспериментов можно было менять местами. Начальная концентрация частиц водного аэрозоля во всех экспериментах составляла $5 \cdot 10^4 \div 10^5 \text{ см}^{-3}$. Максимум

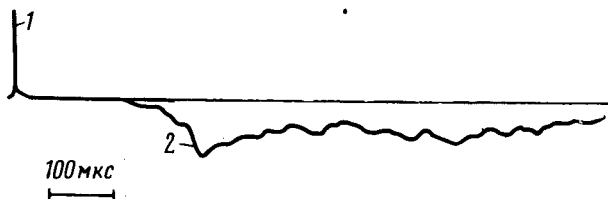


Рис. 1. Фрагмент регистрации просветления водного аэрозоля для излучения He – Ne-лазера: 1 – контрольный напуск аэрозоля, 2 – просветление аэрозоля после действия излучения CO_2 -лазера, импульс длительностью 1 мкс, плотность энергии $3,2 \text{ Дж/см}^2$

распределения капель по размерам приходился на $0,5 \div 1$ мкм по радиусу. В отсутствие облучения время оседания туманов, определяемое по уменьшению ослабления зондирующего луча на порядок, составляло $\sim 10 \div 15$ мин.

При облучении облака искусственного тумана CO_2 -лазером примерно через 15 с после момента действия импульса излучения в канале зондирования с большой постоянной времени было зарегистрировано появление резкого скачка просветления, максимальная величина которого достигала 30 % от сигнала зондирующего луча в камере без аэрозоля (рис. 1, а). На скоростном канале было зафиксировано заметное увеличение ослабления на оси пучка излучения CO_2 -лазера через 250 мкс после прохождения импульса излучения, как видно из рис. 2. Следует отметить, что увеличение скорости осаждения туманов происходит и при облучении облаков пучком CO_2 -лазера сплошного сечения. Сильнее всего эффект проявлялся при облучении аэрозольной среды через 2 – 3 минуты после образования тумана и ослаблялся при многократных напусках водных туманов без предварительной осушки камеры, что по-видимому является следствием смещения спектра частиц в область меньших размеров.

Наблюдения за величиной просветления водного аэрозоля при различных плотностях падающей энергии, показывают, что относительная величина просветления водного аэрозоля почти линейно растет с увеличением плотности падающей энергии практически до 3 Дж/см^2 , однако из-за нелинейного поглощения лазерного излучения аэрозольной средой наблюдается увеличение эффективности просветления с ростом плотности энергии падающего излучения, что по-видимому объясняется тем, что при плотностях энергии приближающихся к 3 Дж/см^2 и более, в увеличении парциального давления паров воды начинает значительно сказываться испарение капель больших размеров, содержащих значительное количество воды.

Оценки величины укрупнения размеров частиц при нарушении равновесия между паром и каплями воды в силу повышения парциального давления водяных паров при акустическом возмущении, основанные на соображениях необходимости сохранения баланса молекул воды в конденсированной и паровой фазах, находятся в разумном соответствии с результатами экспериментов. При этом следует отметить хорошее совпадение времени прохождения звуковой волны через водный аэрозоль и начала наблюдения эффектов.

Таким образом, обнаружено явление конденсации пара в туманах и, соответственно, увеличение скорости седиментации укрупненных водяных частиц вследствие воздействия на туманы излучения импульсного CO_2 -лазера с малой плотностью энергии начиная с $0,8 \text{ Дж/см}^2$. Наблюдаемые эффекты объясняются смещением термодинамического равновесия в системе водные частицы – насыщенный пар и укрупнением капель за счет конденсации при прохождении слабой звуковой волны, возникающей при распространении импульсного лазерного излучения.

Литература

1. Зуев В.Е., Копытин Ю.Д., Кузиковский А.В. Нелинейные оптические эффекты в аэрозолях. Изд. Наука, Сибирское отделение, г.Новосибирск, 1980, стр. 184.
2. Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. М.: Радио и связь, 1981, стр. 288.
3. Кузиковский А.В., Коханов В.И., Чистякова Л.К. Импульсное просветление искусственного водного аэрозоля излучением CO_2 -лазера. II Совещание по атмосферной оптике. Тезисы докладов, часть III, Тэмск, 1980, стр. 190.
4. Волковицкий О.А., Иванов Е.В., Коломеев М.П., Семенов Л.П. Оптическое замутнение облачной среды при воздействии излучения CO_2 -лазера. Квантовая электроника, 1976, 3, 404.
5. Бычков Ю.И. и др. Импульсный CO_2 -лазер с энергией излучения 5 кДж. Письма в ЖТФ, 1976, 25, 212.
6. Аскаръян Г.А., Дацкевич Н.П., Кононов Н.Н., Кузьмин Г.П. Звуковой оптический волновод и канал у оси луча лазера в среде. Письма в ЖТФ, 1982, 8, 152.