

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. Е. Зуев, В. В. Белов, Б. Д. Борисов, В. Н. Генин,
М. В. Кабанов, Г. М. Креков, Экстремальное иска-
жение изображения объектов, наблюдаемых через
рассеивающий слой,
Докл. АН СССР, 1983, том 268, номер 2, 321–324

<https://www.mathnet.ru/dan45867>

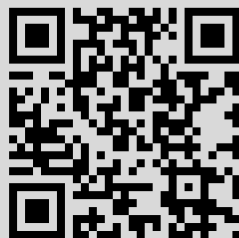
Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.173

14 мая 2025 г., 17:27:12



Академик В.Е. ЗУЕВ, В.В. БЕЛОВ, Б.Д. БОРИСОВ, В.Н. ГЕНИН,
М.В. КАБАНОВ, Г.М. КРЕКОВ

**ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ИСКАЖЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ,
НАБЛЮДАЕМЫХ ЧЕРЕЗ РАССЕИВАЮЩИЙ СЛОЙ**

Решение проблемы оптического видения осложняется в реальной атмосфере из-за ее неоднородности. Характер неоднородности рассеивающих свойств атмосферы особенно нагляден при наблюдениях из космоса и в обратном направлении, когда земная атмосфера представляет собой рассеивающий слой, приближенный соответственно к наблюдаемому объекту или наблюдателю.

Немонотонный характер зависимости качества изображения объектов от положения слоя мутной среды на трассе наблюдения впервые отмечен в работе [1], где приведены данные лабораторных исследований вариаций контраста изображения светящейся полуплоскости, наблюдаемой через слой рассеивающей среды. В этих модельных экспериментах зарегистрирована минимальная величина контраста изображения при некоторых промежуточных положениях слоя, характеризуемых параметром $t = 0,25 - 0,5$ ($t = l/L$, где l — расстояние от объекта до ближайшей границы слоя, L — до приемника).

Последующие теоретические исследования [2, 3], выполненные на основе линейно-системного подхода к задачам теории видения в предположении инвариантности систем наблюдения, не подтвердили указанные выше искажения изображения объектов слоем мутной среды. Так, из [2, 3] следует, что с приближением слоя к приемнику качество изображения объектов любых размеров монотонно ухудшается.

Результаты аналогичных теоретических и экспериментальных исследований, но выполненных в предположении локальной инвариантности систем наблюдения (т.е. справедливых для самосветящихся объектов ограниченных размеров), изложены в [4, 5] для значений параметра $0,1 \leq t \leq 0,8$ и подтверждают вывод работы [1].

В данном сообщении излагаются основные результаты совместных теоретических и экспериментальных исследований зависимости качества изображения от положения рассеивающего слоя в области малых значений параметра t , где обнаружен эффект резкого ухудшения качества изображения объектов ограниченных размеров. Анализ этой зависимости для систем, обладающих круговой симметрией, удобно провести с помощью частотно-контрастных характеристик $k(t, \omega)$, где ω — пространственная частота; $k(\omega) = K(\omega)/K(0)$; оптическая передаточная функция системы наблюдения

$$(1) \quad K(\omega) = \int_0^r h(r) J_0(\omega r) r dr,$$

$r = \sqrt{x^2 + y^2}$; x, y — координаты в плоскости изображения; $J_0(\omega r)$ — функция Бесселя нулевого порядка; $h(r)$ — импульсная реакция оптической системы на точечный объект или функция размытия точки (ф.р.т.).

Теоретические исследования состояли в моделировании на ЭВМ методом Монте-Карло функций $h(r)$ [4, 6] и в определении зависимости $k = k(t; \omega)$ с помощью преобразования Ганкеля (1). Численные эксперименты (в предположении, что при-

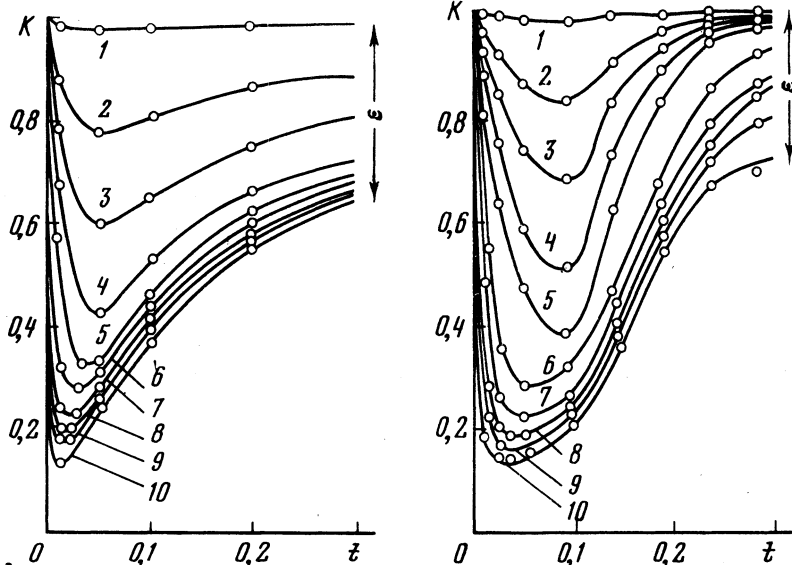


Рис. 1. Зависимость $k = k(t; \omega)$, полученная в численных экспериментах на ЭВМ для набора пространственных частот $\omega = 0,1; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 2; 3; 4; 5; 6$ (кривые 1–10 соответственно); оптическая толщина слоя $\tau = 3, \lambda = 0,53$ мкм

Рис. 2. Зависимость $k = k(t; \omega)$, полученная в лабораторном эксперименте (для того же набора пространственных частот, что и на рис. 1); оптическая толщина слоя $\tau = 2,9, \lambda = 0,53$ мкм

емная оптическая система не обладает aberrациями) выполнены для схемы наблюдения диффузно излучающих объектов через однородный рассеивающий слой оптической толщины τ . Модель рассеивающей среды определена заданием коэффициентов ослабления, рассеяния, поглощения и индикатрисы рассеяния (оптические характеристики рассчитаны по формулам теории Ми). Исследования проведены для схемы наблюдения, описанной в [4, 5]. Зависимости $k = k(t; \omega)$ получены для трех моделей рассеивающих сред: облако С1, дымка Н [7], аэрозольная континентальная дымка при влажности 20% [8] (длина волны излучения $\lambda = 0,53$ мкм) при вариациях $3 \leq \tau \leq 6$.

Пример зависимости $k = k(t; \omega)$ для дискретного набора частот ω и модели среды, соответствующей континентальной дымке (при $\tau = 3$), представлен на рис. 1. Вид полученных зависимостей $k(t; \omega)$ показывает, что качество изображения объектов, наблюдаемых через светорассеивающий слой при его перемещении от предметной плоскости к приемнику, трансформируется следующим образом. Первоначальные перемещения (в достаточно узкой области значений t) приводят к резкому ухудшению качества изображения. При этом прежде всего максимально искажаются в изображении высокие пространственные частоты (тонкая структура объекта). Дальнейшее приближение слоя к приемнику (рост t) приводит к улучшению качества изображения, которое в зависимости от оптических свойств среды и пространственного спектра объекта может стать выше, чем при $t = 0$ (слой граничит с предметной плоскостью).

Следующий этап исследований зависимости $k(t; \omega)$ потребовал проведения специальных лабораторных экспериментов, которые выполнены на установке, описанной в [5]. В качестве источника излучения выбран диффузно излучающий объект с угловыми размерами $0,37 \cdot 10^{-3}$ рад. Рассеивающей средой служил раствор молока в воде.

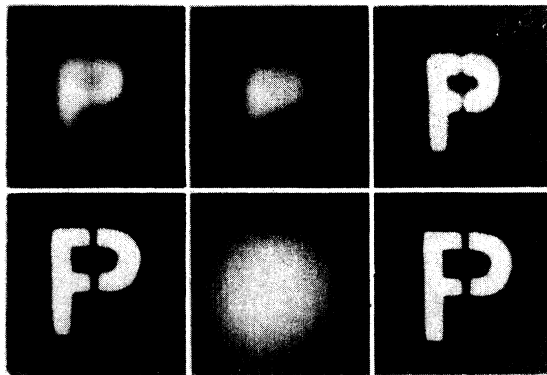
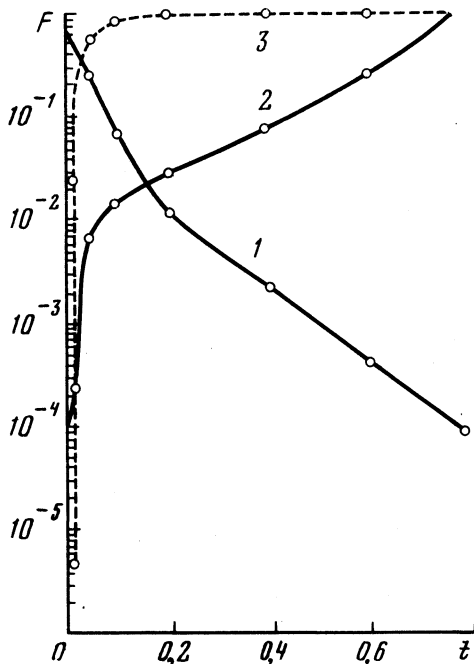


Рис. 3. Иллюстрация t -эффекта. Фотографии тест-объекта: через слой раствора молока (верхний ряд) при $t = 0; 0,006; 0,2$ (слева направо); через молочное стекло (нижний ряд) при $t = 0; 0,025; 0,38$ (слева направо)

Рис. 4. Зависимость факторов P, f, q от параметра t (кривые 1, 2 и 3 соответственно); фактор f определен для среды типа облако С1



На рис. 2 представлена зависимость $k(t; \omega)$ для того же набора пространственных частот, что и на рис. 1, при оптической толщине рассеивающего слоя $\tau = 2,9$, $\lambda = 0,53$ мкм (геометрические параметры схем наблюдения в численных и лабораторных экспериментах выбирались одинаковыми). Из сравнения рис. 1 и 2 следует хорошее качественное совпадение зависимостей $k = k(t; \omega)$. Количественное несоответствие результатов численных и лабораторных экспериментов на рис. 1, 2 объясняется неадекватностью рассеивающих свойств модельных сред и не учтенным в численных экспериментах влиянием стенок кюветы на пространственно-угловое распределение излучения, прошедшего через слой мутной среды.

Для качественной иллюстрации обнаруженного эффекта экстремального искажения изображения локализованным рассеивающим слоем (t -эффект) нами выполнено фотографирование светящегося тест-объекта при различных положениях слоя на трассе наблюдения. Значения параметра t для фотосъемки выбирались из полученных зависимостей $k(t; \omega)$.

На рис. 3 приведены фотографии тест-объекта, наблюдаемого: а) через кювету с раствором молока (верхний ряд) при $\tau = 5,1$ и значениях $t = 0; 0,006; 0,2$ (слева направо); б) через молочное стекло (нижний ряд) при $\tau \approx 12$ и значениях $t = 0; 0,025; 0,38$ (слева направо).

Отметим, что численные и лабораторные эксперименты показывают (см. рис. 1–3) устойчивое проявление t -эффекта при вариациях оптической толщины и рассеивающих свойств слоя мутной среды.

Физические причины экстремальной зависимости качества изображения от параметра t определяются, на наш взгляд, условиями формирования рассеянной компоненты функции размытия точки. Условия освещения рассеивающего слоя в поле зрения приемника можно характеризовать величиной потока P от точечного источника излучения единичной энергии и степенью $q = E/E_0$ неравномерности освещения соответствующей области G , где E_0 — освещенность в центре этой области, E — на ее периферии. Условия регистрации рассеянного излучения (по крайней мере в прибли-

жении однократного рассеяния) можно описать величиной $f = g(\theta)/g(0)$, где $g(0)$ — значение индикатрисы в направлении вперед, $g(\theta)$ — ее значение при угле рассеяния θ , соответствующем рассеянию в направлении на приемник из периферийных точек области G .

Факторы $P = P(t)$, $f = f(t)$, $q = q(t)$, определяющие уровень и, в известной мере, структуру рассеянной компоненты ф.р.т., приведены на рис. 4 (для угла поля зрения приемной системы $\nu \approx 3^\circ$). Видно, что с ростом t факторы f и q способствуют уширению функции размытия точки или ухудшению качества изображения, а фактор P — его улучшению (уменьшению рассеянного фона, регистрируемого приемником). Совместное действие рассмотренных выше факторов на процесс формирования рассеянной компоненты ф.р.т. объясняет экстремальное искажение оптического изображения объекта слоем мутной среды.

Институт оптики атмосферы
Сибирского отделения Академии наук СССР
Томск

Поступило
25 V 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. Генин В.Н., Зайцев В.Е., Кабанов М.В. В кн.: X Всесоюз. конфер. по распространению радиоволн: Тез. докл. М.: Наука, 1972, с. 356–359.
2. Дрофа А.С. В кн.: II совещ. по' атмосферной оптике: Тез. докл., ч. 1. Томск, 1980, с. 22–25.
3. Дрофа А.С., Кацев И.Л. — Метеорол. и гидрол., 1981, № 11, с. 101–109.
4. Белов В.В. Решение задач теории видения и лазерного зондирования методом Монте-Карло. Автореф. канд. дис., Томск, 1982, с. 19–20.
5. Борисов Б.Д., Генин В.Н., Кабанов М.В. В кн.: VI Всесоюз. симп. по распространению лазерного излучения в атмосфере: Тез. докл., ч. 1. Томск, 1981, с. 172–174.
6. Belov V.V., Krekov G.M. — Optics Lett., 1979, vol. 4, № 5, p. 158–160.
7. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М.: Мир, 1971. 165 с.
8. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1982. 203 с.

УДК 550.311 + 532.546

ГЕОФИЗИКА

А.В. КАРАКИН, Л.И. ЛОБКОВСКИЙ

ГИДРОДИНАМИКА И СТРУКТУРА ДВУХФАЗНОЙ АСТЕНОСФЕРЫ

(Представлено академиком В.А. Магницким 2 VI 1982)

1. В геофизической литературе широко распространено мнение о том, что в тектонически активных зонах Земли (к которым относятся океанические и континентальные рифты, области внутриплитового вулканизма и т.д.) на глубинах порядка 100 км мантийное вещество, попадая в определенные PT -условия, подвергается частичному плавлению (например, вследствие декомпрессии восходящего нагретого мантийного потока) [1]. С частичным плавлением астеносферы связывают наличие сейсмических волноводов, областей низкой добротности и зон повышенной электропроводности на этих глубинах. Кроме того, считается, что большая часть вулканизма на Земле обусловлена питанием астеносферы. Расчеты показывают, что для объяснения наблюдаемых в верхней мантии сейсмических и геоэлектрических аномалий достаточно наличия всего нескольких процентов расплавленной фазы, образующей систему сообщающихся микроканалов, пронизывающих кристаллический скелет среды [2]. С другой стороны, экспериментально установлено, что