

## О возможности определения параметров спектров пропускания голографических сенсоров на основе серебряных эмульсий

А.В. Крайский<sup>1</sup>, А.А. Крайский<sup>1</sup>, М.А. Шевченко<sup>1</sup>, В.А. Постников<sup>2</sup>,  
Т.Т. Султанов<sup>1</sup>, Т.В. Миронова<sup>1</sup>, М.А. Казарян<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
119991, г. Москва, Ленинский пр., 53

<sup>2</sup> Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины  
Федерального медико-биологического агентства  
119435, г. Москва, ул. М. Пироговская, 1а

Поступила в редакцию 16.08.2017 г.

Показано, что спектр пропускания светового излучения через слой голографического сенсора на основе внедренных в полимерную матрицу нанозерен серебра хорошо описывается выражениями, полученными с учетом рэлеевского светорассеяния и поглощения нанозернами серебра. Оптические характеристики среды определяются в приближении Максвелла Гарнетта. При наличии голографической структуры в спектре возникает провал. Возможность определения аппроксимирующих кривых зависит от интервала аппроксимации. Полученные кривые хорошо приближают спектры как при наличии интерференционной структуры, так и без нее. Параметры провалов совпадают для различных диапазонов. При этом значения параметра фона, связанного с поглощением, которые получены при различных диапазонах аппроксимации, могут сильно отличаться.

*Ключевые слова:* голографические сенсоры, спектр пропускания, рэлеевское рассеяние, аппроксимация рэлеевского фона, брэгговский провал; holographic sensors, transmission spectrum, Rayleigh scattering, Rayleigh background approximation, Bragg dip.

### Введение

Голографические сенсоры — это толстослойные голограммы Денисюка, полимерная матрица которых настроена на определенный класс тестируемых веществ [1–4]. Под действием исследуемого вещества в растворе, куда погружен сенсор, он изменяет свое набухание тем больше, чем больше этого вещества в растворе. Поведение показателя преломления такой голограммы имеет периодический характер — он изменяется «послойно», слои расположены почти параллельно границам голографического слоя и эффективно отражают свет. Длина волны света в среде в 2 раза больше периода голографических слоев. Для других длин волн отражение определяется в основном френелевским отражением на границах голографического слоя и в окрестности резонанса в пределах почти неизменного коэффициента преломления постоянно. Так формируется линия

брэгговского отражения, которое носит резонансный характер и при не слишком высоком коэффициенте отражения имеет небольшую спектральную ширину, тем меньшую, чем больше толщина слоя. Например, для слоя толщиной 20 мкм ширина спектра составляет ~8 нм. Эта линия выделяется на фоне френелевского отражения.

Соотношение между максимумом брэгговского отражения и уровнем фона зависит от параметров голографического слоя. В спектре пропускания описываемой структуры вне линии брэгговского отражения формируется практически постоянный уровень, близкий к единице, образуя постоянный фон, в котором в области брэгговского отражения имеется провал. Положение минимума, амплитуда и ширина провала являются теми же, что и для брэгговской линии в спектре коэффициента отражения. В результате набухания сенсора под действием тестируемого вещества изменяется положение линии отражения в спектре, что видно с помощью спектрометра или невооруженным глазом по изменившемуся цвету сенсора при освещении белым светом. Аналогичные изменения в спектре пропускания происходят и с провалом.

В [3] было показано, что при определенных условиях в растворе резко и сильно (практически

\* Александр Владиславович Крайский (kraiski@sci.lebedev.ru); Антон Александрович Крайский (akraiski@sci.lebedev.ru); Михаил Александрович Шевченко (mishev87@mail.ru); Владимир Александрович Постников (vladpostnikov@mail.ru); Тахир Талгатович Султанов; Татьяна Вячеславовна Миронова (tania@itep.ru); Мишик Айразатович Казарян (kazarmishik@yahoo.com).

на порядок) увеличивается интенсивность отраженного излучения. При большом исходном значении дифракционной эффективности это может привести к сильному уширению линии брэгговского отражения, а следовательно, к уменьшению точности измерения длины волны, на которой наблюдается экстремум в спектре отражения. Это, в свою очередь, вызовет уменьшение точности определения содержания тестируемого вещества. Чтобы такого не произошло, необходимо обеспечить правильный режим работы сенсора. Он регулируется подбором параметров сенсора главным образом толщиной голографического слоя, амплитудой переменной части показателя преломления, периодом интерференционной структуры, которые нужно уметь контролировать.

В [5] был предложен алгоритм определения параметров голографического непоглощающего и нерассеивающего слоя (толщины слоя, амплитуды и периода переменной части показателя преломления) по параметрам брэгговского провала в спектре пропускания слоя: относительной амплитуде провала  $A$ , его положению  $\lambda_0$  и ширине  $\Delta\lambda$ . Преимущество метода — он не требует специальных калибровочных измерений коэффициента отражения слоя, который для периодических структур называется дифракционной эффективностью (ДЭ). Калибровка проводится по отношению к фоновому значению пропускания в окрестности провала, которое для сред без потерь (например, для отбеленной голограммы) постоянно.

Этот подход, как нам представляется, следует расширить на среды с потерями, каковыми являются эмульсии с серебряными зернами. В них, в отличие от среды без потерь, поведение спектра пропускания иное — он плавно изменяется с длиной волны.

Спектр пропускания слоя такой среды без интерференционной структуры на длинных волнах изменяется мало, а при укорочении длины волны начинает резко падать (кривая 1, рис. 1).

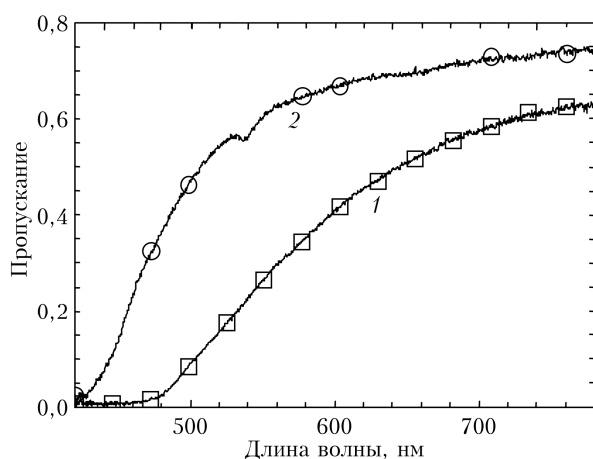


Рис. 1. Характерный вид спектров пропускания голографического слоя: 1 — эмульсионный слой без голографической структуры; 2 — голографический слой с малой ДЭ (~4%)

При наличии периодической структуры в слое на плавно изменяющемся спектре (далее будем на-

зывать его рэлеевским фоном или просто фоном) появляется провал (кривая 2, рис. 1), соответствующий линии отражения и имеющий примерно те же параметры ( $A$ ,  $\lambda_0$ ,  $\Delta\lambda$ ), что и линия брэгговского отражения. В зависимости от периода голографической структуры и концентрации тестируемого вещества провал может находиться в широком интервале длин волн (от 500 нм и больше) и попадать на разные участки рэлеевского фона.

В [5] рассмотрено два подхода для определения параметров голографического слоя без потерь. Для среды с малой ДЭ ( $<0,1$ ) они определяются из параметров брэгговского провала с помощью простого выражения. Для среды с большей ДЭ ( $>0,1$ ) поставленная задача решалась следующим образом. По спектру пропускания определялись глубина и ширина провала. Затем методом подгонки добивались совпадения с ними параметров провала спектра, получаемого при решении задачи распространения световой волны в периодической среде, варьируя при расчете амплитуду переменной части показателя преломления и толщину слоя. Этот метод пригоден для слоев с любой ДЭ.

## Постановка задачи

Для сред с потерями естественно предположить, что на них можно распространить описанный выше способ. Цель настоящей работы — предложение и предварительная оценка упрощенного алгоритма определения параметров брэгговского провала голографических слоев при малой ДЭ и параметров рэлеевского фона.

В дальнейшем мы предполагаем доработать этот алгоритм так, чтобы с его помощью можно было при любом значении ДЭ получать предварительную оценку параметров провала в качестве исходных данных для последующего нахождения параметров голографического слоя указанным выше методом компьютерного моделирования для среды без потерь.

В наших экспериментах исходная среда — эмульсия, в которую внедрены зерна серебра. Матрица эмульсии — это непоглощающая и нерассеивающая среда. Потери же в ней происходят из-за светорассеяния и поглощения света зернами серебра.

Спектр пропускания среды — это спектр пропускания светорассеивающих сред рэлеевского вида без голографической структуры в достаточно широкой спектральной области, с локализованными в одной или нескольких спектральных областях линиями поглощения. Находя параметры рэлеевского фона в спектре пропускания среды, после доработки алгоритм позволит разделять фон и линейчатый спектр поглощения для дальнейшей работы с этими линиями поглощения, что может представлять интерес для описания некоторых процессов в газообразных, жидких или гибридных средах. В качестве примера можно привести среду аэрозольного типа со светорассеянием и плавным фоновым поглощением, в которой либо частицы аэрозоля, либо среда имеют линии поглощения.

Основная задача настоящей работы — разработка алгоритма для определения в спектре пропускания параметров брэгговского провала в изменяющемся по длинам волн рэлеевском фоне.

## Описание метода

При аппроксимации провала на постоянном фоне определение параметров провала не представляет труда. Несложно также найти параметры узкого провала в спектре пропускания путем плавного изменения коэффициента пропускания (например, с помощью линейной интерполяции). Однако в [3] обнаружено, что при переходных процессах наблюдается сильное уширение линий отражения, возникающее из-за переменного периода интерференционных слоев вследствие переменной по глубине концентрации тестируемого вещества. При этом в условиях сильной кривизны спектра линейная интерполяция может приводить к большим ошибкам определяемых параметров провала. Поэтому мы будем выбирать аппроксимирующую рэлеевский фон функцию на основе свойств голографического слоя, так как для нашей среды она должна более адекватно описывать эти спектры.

В данной работе мы имеем дело с эмульсией серебряных нанозерен в полимерной матрице. Спектр пропускания слоя без голограммы показан на рис. 1 (кривая 1). Такой вид спектра, на наш взгляд, обусловлен потерями проходящего сквозь эмульсию параллельного пучка света вследствие поглощения и рассеяния; коэффициент ослабления представляет собой сумму коэффициентов рассеяния и поглощения. Нанозерна считаем диполями, что возможно при их малых радиусах  $r$ :

$$r \ll \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_n}}, \quad (1)$$

( $\epsilon_n$  — комплексная диэлектрическая проницаемость материала частицы). Потери, вызванные рэлеевским рассеянием излучения на малых частицах, пропорциональны 4-й степени волнового числа (т.е. обратно пропорциональны 4-й степени длины волны), а вызванные поглощением, пропорциональны волновому числу.

В работе мы использовали миниспектрометр с волоконным входом FSD-8. Апертура входящего пучка мала, и многократным рассеянием можно пренебречь, поскольку это излучение в основном уходит из поля зрения измерительной системы. Мы рассматриваем приближение эффективной среды, т.е. считаем, что расстояние между частицами много меньше длины волны. Диэлектрическая проницаемость такой композитной среды вычисляется по формуле Максвелла Гарнетта [6–7]:

$$\begin{aligned} \epsilon(z) &= \epsilon_m + 3\epsilon_m V_{\text{in}} \frac{\frac{\epsilon_n - \epsilon_m}{\epsilon_n + 2\epsilon_m}}{1 - V_{\text{in}} \frac{\epsilon_n - \epsilon_m}{\epsilon_n + 2\epsilon_m}} \approx \\ &\approx \epsilon_m \left( 1 + 3V_{\text{in}}(z) \frac{\epsilon_n - \epsilon_m}{\epsilon_n + 2\epsilon_m} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Это — комплексная величина;  $\epsilon_m$  — диэлектрическая постоянная матрицы эмульсии, которая в нашей работе считается непоглощающей;  $V_{\text{in}}$  — объемная доля включений. В качестве диэлектрической проницаемости материала частиц при расчетах использовалась характеристика металлического серебра. Мнимая часть показателя преломления среды определяется из (2):

$$\begin{aligned} \text{Im } n &= \frac{\text{Im } \epsilon}{2\sqrt{\text{Re } \epsilon}} + O(V_{\text{in}}^2) = \frac{\text{Im } \epsilon}{2n_m} + O(V_{\text{in}}^2) = \\ &= \frac{3}{2} n_m V_{\text{in}} \text{Im} \left( \frac{\epsilon_n - \epsilon_m}{\epsilon_n + 2\epsilon_m} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

$n_m$  — показатель преломления матрицы. Нетрудно показать, что в этом случае в качестве аппроксимирующей фон функции можно взять выражение

$$I = I_0 \exp \left( - \left| \frac{\epsilon_n - \epsilon_m}{\epsilon_n + 2\epsilon_m} \right|^2 \left( \frac{d}{\lambda} \right)^4 - \text{Im} \left( \frac{\epsilon_n - \epsilon_m}{\epsilon_n + 2\epsilon_m} \right) \left( \frac{g}{\lambda} \right) \right), \quad (4)$$

где  $I_0$  — уровень, к которому асимптотически приближается коэффициент пропускания с увеличением длины волны;  $d$  — величина, связанная с коэффициентом при 4-й степени обратной длины волны в показателе экспоненты (в нанометрах);  $g$  — параметр, связанный с линейной зависимостью в показателе экспоненты (в нанометрах). С помощью метода наименьших квадратов подгонкой логарифма функции (4) (т.е. показателя экспоненты) к логарифму экспериментального спектра находим все три свободных подгоночных параметра.

Периодичность изменения оптических свойств обеспечивается периодичным изменением концентрации нанозерен. При освещении белым светом в спектре отражения наблюдается узкая линия, отвечающая брэгговским условиям. Она неплохо аппроксимируется гауссовой функцией (см. [5]). В спектре пропускания ей будет соответствовать провал той же формы (кривая 2, см. рис. 1). Для аппроксимации провала на фоне спектра пропускания рэлеевского типа для эмульсии мы также используем гауссову функцию. Она описывается теми же тремя параметрами: амплитудой  $A$ , положением максимума  $\lambda_0$ , шириной на половине высоты  $\Delta\lambda$ . Аппроксимирующая функция при брэгговском отражении и в отсутствие поглощения в [5] в пределах рабочего интервала задавалась выражением

$$I_{\text{br}} = I_0 \left[ 1 - A \exp \left( - \left( \frac{\lambda - \lambda_0}{\Delta\lambda/2} \right)^2 \ln 2 \right) \right] \quad (5)$$

с тремя подгоночными параметрами для провала. Подгонка параметров — это обратная задача, поэтому ее решение для такой функции может быть неустойчивым или даже не всегда может быть найдено. Здесь мы в качестве приближения примем простейшую модель описания: в спектре пропускания слоя рассматриваемой среды тот же провал (5) накладывается на функцию, описывающую спектр

пропускания слоя с комплексным показателем преломления (3). Таким образом, подгоночная кривая для голографического слоя имеет вид:

$$I_{br} = I_0 \left[ 1 - A \exp \left( - \left( \frac{\lambda - \lambda_0}{\Delta \lambda / 2} \right)^2 \ln 2 \right) \right] \times \exp \left( - \left| \frac{\varepsilon_n - \varepsilon_m}{\varepsilon_n + 2\varepsilon_m} \right|^2 \left( \frac{d}{\lambda} \right)^4 - \operatorname{Im} \left( \frac{\varepsilon_n - \varepsilon_m}{\varepsilon_n + 2\varepsilon_m} \right) \left( \frac{g}{\lambda} \right) \right). \quad (6)$$

Случай отсутствия периодической структуры для оптических свойств также описывается выражением (6) при нулевом значении параметра  $A$ , что совпадает с (4).

## Результаты и их обсуждение

Принятая нами модель неустойчива в том смысле, что даже при таких гладких спектрах компьютерная модель не всегда может найти решение в произвольном диапазоне длин волн. Решение часто ищется в специально подобранных диапазонах. Нередки ситуации, когда при изменении границ диапазона происходят изменения параметров  $d$  и  $g$  в (6) в зависимости от показателя второй экспоненты от обратной длины волны в (5). Эти особенности определяются характером конкретного спектра. Однако несмотря на них при аппроксимации параметров фона параметры провала находятся достаточно хорошо и ход рэлеевского фона с изменением диапазона аппроксимации может сохраняться.

Кривая 2 на рис. 1 показывает спектр пропускания голографического слоя с малой амплитудой брэгговского провала, т.е. с малой ДЭ (~4%). В слоях с такой ДЭ в отсутствие потерь на поглощение и светорассеяние, как показано в [5], линии отражения и провала в спектре пропускания в виде постоянного фона практически не уширяются. На рис. 2 показаны спектр пропускания эмульсионного слоя без голографической структуры и три наложенные на него (практически слившиеся) аппроксимирующие кривые, которые подгонялись на различных участках спектра, но тем не менее совпадают с экспериментальным спектром и между собой практически во всем диапазоне. Лишь в области около 560–600 нм видно, что кривые идут чуть выше экспериментального спектра, а в областях 510–540 нм и 670–770 нм — чуть ниже. Это хорошо показывает разностная кривая между экспериментальным спектром и аппроксимирующей кривой, которая проходит вблизи оси абсцисс. Параметры диапазонов и кривых приведены в табл. 1;  $I_0$  — уровень, к которому асимптотически приближается коэффициент пропускания с увеличением длины волны.

Подгонка проводилась на коротковолновом участке 480–674 нм (№ 1, табл. 1) и на длинноволновом участке 650–770 нм (№ 2). Видно, что все параметры отличаются слабо. При подгонке на большом участке, который представляет собой

в основном перекрытие первых двух участков, кроме длинноволнового края (№ 3), параметры  $I_0$  и  $d$  близки к полученным на меньших участках. Однако для параметра  $g$  (коэффициент при линейном по волновому числу члене) разница существенная. Причины этого не ясны. При этом аппроксимирующая кривая отличается от спектра незначительно, и режим работы голографического слоя можно определить вполне адекватно по параметрам провала (прежде всего по его амплитуде). Отметим, что аппроксимирующие кривые неплохо совпадают с экспериментальными спектрами и вне участка подгонки.

Таблица 1

Параметры аппроксимации гладкого спектра пропускания

№	Тип спектра	Нижняя граница, нм	Верхняя граница, нм	$I_0$	$d$ , нм	$g$ , нм
1	без провала	480	674	0,72	414,66	604,40
2	без провала	650	770	0,73	416,96	542,93
3	без провала	480	750	0,73	420,43	270,44

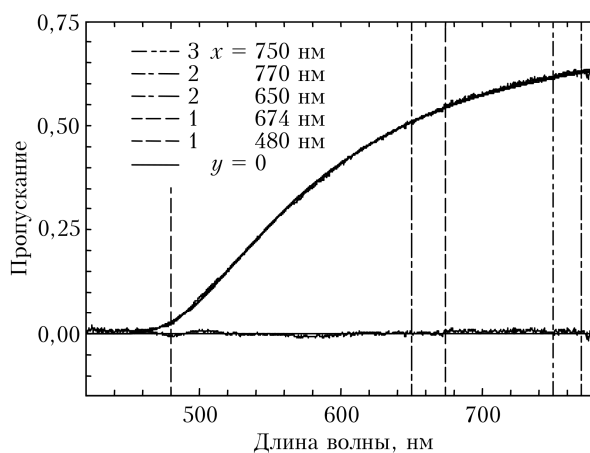


Рис. 2. Спектр пропускания эмульсионного слоя без голографической структуры, три наложенные на него (практически слившиеся) аппроксимирующие кривые и возле оси абсцисс разность между экспериментальной и аппроксимирующей кривыми, подогнанная по наибольшему диапазону. Вертикальные линии соответствуют границам диапазонов аппроксимации ( $x$  — соответствующая длина волны из табл. 1)

При наличии провала в спектре аппроксимация проводилась подгонкой всех шести параметров выражения (5): три параметра брэгговского провала и три параметра рэлеевского фона в спектре пропускания.

На рис. 3 приведены результаты для голограммы с небольшой ДЭ с амплитудой провала ~4% (0,040–0,043). На экспериментальный спектр наложены аппроксимирующие кривые, полученные на различных его участках. Подгоночные данные приведены в табл. 2. Все кривые подгонялись на диапазонах, включающих провал, с учетом этого провала.

Параметры аппроксимации спектра пропускания голографического сенсора

№	Тип спектра	Нижняя граница, нм	Верхняя граница, нм	Амплитуда	Длина волны, нм	Ширина, нм	$I_0$	$d$ , нм	$g$ , нм
1	с провалом	450	750	0,0433	539,4	11,45	0,756	257	586
2	с провалом	450	562	0,0438	539,4	11,78	0,755	253	633
3	с провалом	527	720	0,0421	539,2	10,67	0,755	274	309

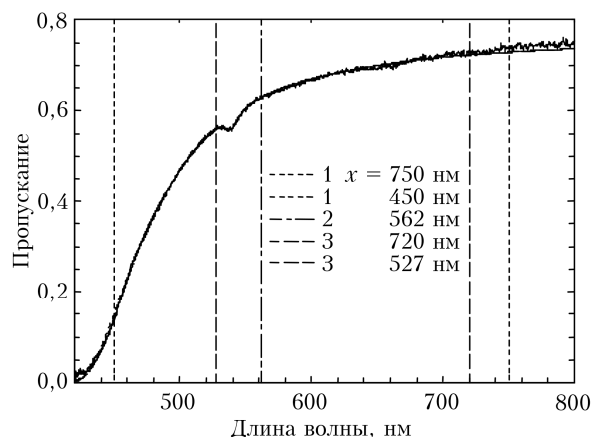


Рис. 3. Спектр пропускания эмulsionного слоя с голографической структурой и три наложенные на него практически слившиеся аппроксимирующие кривые с учетом провала ( $x$  — соответствующая длина волны из табл. 2)

Первая кривая подгонялась в широком спектральном диапазоне 450–750 нм, 2-я кривая — в коротковолновой части этого диапазона с провалом вблизи его длинноволновой границы, 3-я кривая — в длинноволновой части широкого диапазона с провалом вблизи коротковолновой границы подгонного диапазона. В масштабе рис. 3 аппроксимирующие кривые практически слились с экспериментальной кривой и друг с другом. Лишь около нижней границы диапазона (450 нм) видно, что аппроксимирующая кривая идет выше экспериментальной, а для более коротких длин волн аппроксимирующие кривые для диапазонов 2 и 3 вне диапазонов аппроксимации идут чуть ниже экспериментальной кривой. В области длин волн, больших длины волны провала, все три аппроксимирующие кривые сливаются друг с другом и с экспериментальным спектром до 640 нм, в районе 650 нм они идут чуть выше экспериментального спектра, а при длине волны больше 690 нм — чуть ниже спектра.

В диапазоне 450–750 нм все аппроксимирующие кривые совпадают. Для всех трех кривых уровни насыщения  $I_0$  одинаковые. Значения параметра  $d$  фактически совпадают для 1-й и 2-й кривых, а для 3-й слегка отличаются. Для 1-й и 2-й кривых близки также параметры  $g$ . Для 3-й кривой  $g$  почти в 2 раза меньше, чем для первых двух.

Поскольку все эти аппроксимирующие кривые почти сливаются, то практически совпадают и получаемые параметры провала — амплитуда и положение минимума. Значения ширины провала для 1-й и 2-й кривых близки, лишь для 3-й (аппокси-

мация по длинноволновой части спектра) значение отличается (менее 10%) от ширины, полученной в длинноволновой части спектра и во всем диапазоне. Это, видимо, связано с понижением уровня рэлеевского фона для этой кривой в области минимума провала, на что указывает небольшое уменьшение амплитуды провала. Для всех трех аппроксимирующих кривых видно, что с уменьшением величины амплитуды уменьшается и ширина провала (связь между этими параметрами близка к линейной). Совпадение аппроксимирующих кривых со спектром здесь также наблюдается в широкой области вне диапазона подгонки.

### Заключение

В работе, исходя из приближения Максвелла Гарнетта для композитной среды, показано, что в голографических слоях на основе нанозерен серебра, т.е. при наличии потерь, спектр пропускания, кроме трех параметров брэгговского провала, характеризуется еще тремя параметрами, из которых один связан со светорассеянием, другой — с поглощением, а третий — с уровнем насыщения пропускания на больших длинах волн. Находя эти параметры методом подгонки, можно с достаточно хорошей точностью вычислять параметры брэгговского провала. Возможность определения аппроксимирующих кривых зависит от интервала аппроксимации. Эти кривые хорошо аппроксимируют экспериментальные спектры как при наличии интерференционной структуры, так и без нее. Аппроксимирующие кривые совпадают со спектром в широкой области вне диапазона подгонки. Получаемые параметры провалов при этом близки для различных диапазонов, однако значения параметра фона, связанного с поглощением, найденные при различных диапазонах аппроксимации, могут при этом сильно отличаться.

Рассмотренные методы представляют интерес для описания некоторых процессов в газообразных и жидких или гибридных средах, включая светоиндуцированные процессы, например в атмосфере при наличии внесенных аэрозольных образований как природного, так и техногенного характера. В частности, таким образом можно находить параметры спектральных линий на рэлеевском фоне при наличии потерь в среде вследствие поглощения и рассеяния на неоднородностях. При этом рассмотренные в работе выражения остаются в силе. Можно также определить параметры рэлеевского фона для среды без периодической голографической структуры

по участкам спектра вне линий поглощения по формуле (3). Естественно, при этом в выражениях должны использоваться оптические характеристики соответствующих материалов. После доработки представленного алгоритма будет возможно разделение рэлеевского фона и спектра поглощения.

В 2011–2014 гг. работа частично была поддержана грантом в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине».

1. *WO Patent Application 1995026499 A1*, Hologram used as a sensor / Lowe C.R., Millington R.B., Blyth J., Mayes A.G. // October 5, 1995.
2. *Yetisen A.K., Naydenova I., da Cruz Vasconcellos F., Blyth J., Lowe C.R.* Holographic Sensors: Three-dimensional analyte-sensitive nanostructures and their applications // *Chem. Rev.* 2014. V. 114, N 20. P. 10654–10696.
3. *Крайский А.В., Постников В.А., Султанов Т.Т., Хамидулин А.В.*, Голографические сенсоры для диаг-

- ностики компонентов растворов // *Квант. электрон.* 2010. Т. 40, № 2. С. 178–182; *Kraiskii A.V., Postnikov V.A., Sultanov T.T., Khamidulin A.V.* Holographic sensors for diagnostics of solution components // *Quantum Electron.* 2010. V. 40, N 2. P. 178–182.
4. *Postnikov V.A., Kraiskii A.V., Sergienko V.I.* Holographic sensors for detection of components in water solutions // *Holography – Basic Principles and Contemporary Applications* / Dr. E. Mihaylova (ed.). Rieka: InTech, 2013. P. 103–128.
  5. *Крайский А.А., Крайский А.В.* Определение параметров голографического слоя по спектральным характеристикам // *Квант. электрон.* 2016. Т. 46, № 6. С. 558–566; *Kraiski A.A., Kraiskii A.V.* Determination of the parameters of a holographic layer by its spectral characteristic // *Quantum Electron.* 2016. V. 46, N 6. P. 558–566.
  6. *Maxwell Garnett J.C.* Colours in metal glasses and in metallic films // *Philos. Trans. R. Soc., A.* 1904. V. 203. P. 385–420.
  7. *Maxwell Garnett J.C.* Colours in metal glasses, in metallic films, and in metallic solutions – II // *Philos. Trans. R. Soc., A.* 1906. V. 205. P. 237–288.

*A.V. Kraiskii, A.A. Kraiskii, M.A. Shevchenko, V.A. Postnikov, T.T. Sultanov, T.V. Mironova, M.A. Kazaryan.* **Estimation of holographic layer parameters from transmission spectra in holographic sensors based on silver emulsions.**

It is shown that the transmission spectrum of a holographic sensor (silver nanograins embedded in a polymer matrix) is well described by expressions for the Rayleigh light scattering and absorption by silver nanograins. The optical characteristics of the medium are determined in the Maxwell Garnett approximation. In the presence of a holographic structure, a dip appears in the spectrum. The possibility of obtaining the approximating curves depends on the approximation interval. The spectra are well approximated both in the presence and in absence of an interference structure. The dip parameters coincide well in the approximation range, despite the fact that the values of the background parameter associated with the absorption being found in different ranges of approximation can differ significantly.