

УДК 004

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ СЛОЕМ ВОДЫ, СОДЕРЖАЩИМ ПУЗЫРИ ГАЗА

Иванов А.С.

Научный руководитель: Шефер О.В.

*Национальный Исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: burnrush@sibmail.com*

### Введение

В настоящее время изучению морских акваторий, использующему оптические методы исследования, уделяется большое внимание. Оптические методы являются наиболее эффективными для проведения мониторинга состава водной среды и установления сейсмической активности в придонных морских областях [1–3]. Характер изменения оптического излучения, трансформированного средой, зависит от особенностей светорассеяния на частицах. На основе результатов анализа этих особенностей проводится оценка физико-химических свойств среды. В данной работе для определения микрофизических параметров водной среды, содержащей пузыри газа, предложена численная модель.

### Постановка задачи

Для исследования характеристик ослабления света, прошедшего через слой воды, содержащий воздушные пузыри, в состав которых входит метан, рассмотрим оптическую модель. Определим характеристики ослабления электромагнитного излучения для частиц объемных форм в рамках теории Ми [4]. Для этого используем решение задачи рассеяния плоской волны на сфере. Используемый нами подход в определении оптических характеристик среды обязывает нас рассматривать непоглощающую среду. Предполагается, что среда прозрачная (т. е. показатель поглощения среды  $\chi_w=0$ ). Известно, что чистая вода и морская вода слабо поглощают излучение диапазона длин волн  $\lambda$  от 0,5 до 2,5 мкм (что соответствует интервалу изменений волнового числа  $\nu=1/\lambda$  от 20000 до 5000  $\text{см}^{-1}$ ) [5–7]. Расчеты показали, что влияние величины  $\chi_w < 10^{-3}$  на оптические характеристики среды пренебрежимо мало. Зависимость показателя преломления воды от волнового числа ( $m_w(\nu)$ ) в указанном спектральном интервале иллюстрируется на рис. 1. Различная концентрация соли в морской воде, приводит к отклонению значений  $m_w(\nu)$  от величин, показанных на рис. 1, примерно на несколько процентов.

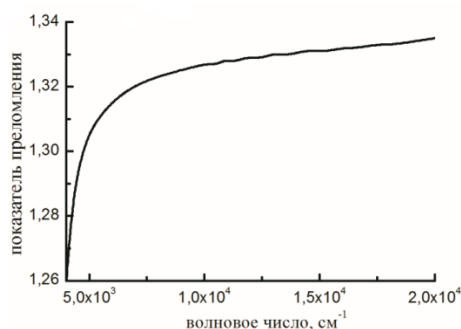


Рис. 1. Зависимость показателя преломления воды от волнового числа  $n(\nu)$

Рассмотрим слой воды, содержащий пузыри газа. При этом метан является основным газовым компонентом. В численной модели такие рассеиватели представлены сферическими частицами радиусом  $a$ . Оптические свойства частицы характеризуются комплексным показателем преломления  $\tilde{n}(\lambda) = n(\lambda) + i \cdot \chi(\lambda)$ . Вещественная часть  $n$ , называемая показателем преломления, определяет запаздывание (или опережение) фазы волны, прошедшей через вещество, мнимая часть  $\chi$ , называемая показателем поглощения, определяет уменьшение интенсивности. По данным базы <http://refractiveindex.info> показатель преломления метана в газообразном состоянии не превышает 1.00002. Показатель поглощения рассчитан по формуле [4]

$$\chi = K \cdot \eta \cdot \lambda / (4 \cdot \pi), \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент молекулярного поглощения;  $\eta$  – концентрацией молекул в рассматриваемом объеме (или парциальное давление).

На рис. 2 иллюстрируется зависимость показателя поглощения пузырей метана в зависимости от волнового числа ( $\chi(\nu)$ ). Результаты расчета  $\chi(\nu)$  были получены на основе данных молекулярного поглощения  $\text{CH}_4$  [8] и формулы (1). Из рисунка видно, что даже при высоком парциальном давлении газа, показатель поглощения метановых пузырей является пренебрежимо малой величиной.

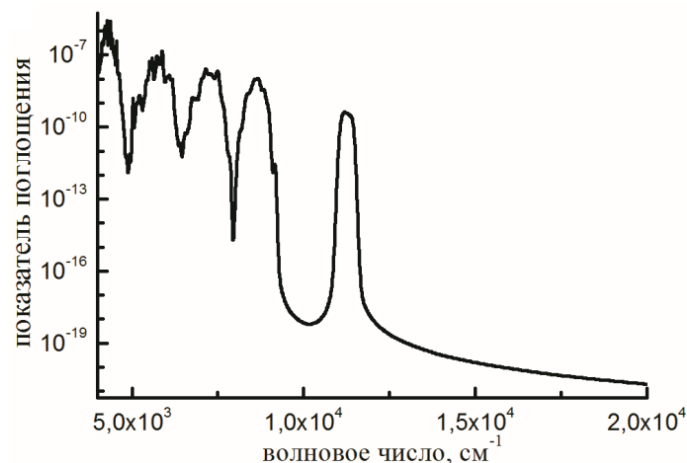


Рис. 2. Показатель поглощения пузырьков метана с парциальным давлением, равным 1 атм, в зависимости от волнового числа  $\chi(\nu)$

Для расчета коэффициента ослабления ансамблем пузырей, находящихся в воде, использовано соотношение [4]

$$\alpha_{\text{ext}} = C \langle S_{\text{ext}} \rangle, \quad (2)$$

где  $\langle S_{\text{ext}} \rangle$  – среднее сечение ослабления, определялось в рамках теории Ми;  $C$  – концентрация частиц в единице объема.

Функция пропускания средой рассчитывалась по формуле [4]

$$T = \exp(-\alpha_{\text{ext}} \cdot h), \quad (3)$$

где  $h$  – путь, который проходит излучение в слое.

Предложенная в данной работе оптическая модель рассматривает непоглощающую среду. В этой среде находятся частицы, которые могут рассеивать и поглощать излучение в разной степени.

### Заключение

Для численного исследования особенностей экстинкции лучистой энергии, прошедшей через водную среду, содержащую пузыри газа, представлена оптическая модель. Показано, что по особенностям спектральной зависимости характеристик ослабления излучения, прошедшего через слабо поглощающий слой воды с пузырями метана, могут быть определены размеры и концентрация рассеивателей. Обнаружение интенсивного и продолжительного потока пузырей в воде может свидетельствовать об активизации физико-химических процессов в придонных областях и возможного расположения газово-нефтяных месторождений.

### Список литературы

1. Обжиров А.И., Телегин Ю.А., Болобан А.В. Потоки метана и газогидраты в охотском море // Подводные исследования и робототехника. – 2015. – № 1. – С. 56–63.
2. Салюк П.К., Буланов В.А., Корсков И.К. и др. Возможность дистанционного обнаружения повышенных концентраций метана в морской воде с использованием методов оптической спектроскопии на подводных телеуправляемых аппаратах // Средства и методы подводных исследований. – 2011. – Т. 12. – № 2. – С. 43–51.
3. Sakerin S.M., Vlasov N.I., Kabanov D.M., et al. Results of spectral aerosol optical depth measurements within the framework of the 58 Russian Antarctic Expedition // Atmos. Ocean. Opt. – 2013. – Vol. 27. – No. 12. – P. 1059–1067.
4. Борен К., Хафман Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. – М.: Мир, 1986. – 660 с.
5. Hale G.M., Querry M.R. Optical constants of water in the 200-nm to 200- $\mu$ m wavelength region. // Appl. Opt. – 1973. – Vol. 12. – P. 555–563.
6. Pinkley D., Williams L.W. Optical properties of sea water in the infrared // J. Opt. Soc. Am. – 1976. – Vol. 66. – No. 6. – P. 554–558.
7. Waren S.G., Brandt R.E. Optical constants of ice from the ultraviolet to the microwave: A revised compilation // Geophys. Res. – 2008. – Vol. 113. – D14220.
8. Шефер О.В., Войцеховская О.К., Каширский Д.Е., Рожнёва О.В. Пропускание оптического излучения надводным и приледным газово-аэрозольным слоем, содержащим метан // Материалы конференции. 6-я научно-техническая конференция «Технические проблемы освоения Мирового океана» (ТПМО-6). Владивосток. 2015. – С. 330–334.