

УДК 535.337

***ЛАЗЕРНОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ КАК МЕТОД  
ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ОБ АКТУАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ  
ПРЕСНОВОДНЫХ АКВАТОРИЙ***

***Гришин М.Я.***

*Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник,  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,  
Москва, Россия*

**Аннотация**

Статья посвящена описанию результатов лазерного дистанционного зондирования реки Ока в г. Таруса (Россия, Калужская область). Приведены примеры спектров обратного рассеяния лазерного излучения в речной воде, измеренных с помощью компактного лидара комбинационного рассеяния, разработанного в Институте общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук. Проведено сравнение спектров обратного рассеяния образцов речной воды, зарегистрированных в натуральных условиях и в лаборатории спустя сутки после отбора проб, показаны различия данных спектров, которые указывают на важность диагностики *in situ* (на месте).

**Ключевые слова:** лазерное дистанционное зондирование, лидар, комбинационное рассеяние, флуоресценция, пресноводные акватории

***LASER REMOTE SENSING AS A TECHNIQUE FOR ASSESSING THE  
RELEVANT STATE OF FRESHWATER RESERVOIRS***

***Grishin M.Ya.***

*PhD, Researcher,  
Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia*

## Abstract

The paper describes the results of laser remote sensing of the Oka river in Tarusa city (Kaluga Region, Russia). Sample spectra of laser irradiation backscattering in river water are presented, the spectra were acquired utilizing a compact Raman lidar developed in the Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences. Spectra of laser irradiation backscattering in river water samples are compared when measured in situ and in laboratory conditions one day after sampling. The differences between in situ and laboratory measurements are shown that emphasize the importance of in situ diagnostics.

**Keywords:** laser remote sensing, lidar, Raman scattering, fluorescence, freshwater reservoirs

## Введение

Оценка состояния пресноводных акваторий является актуальной задачей в рамках мониторинга экологического состояния окружающей среды, поскольку хозяйственная деятельность человека, например, создание водохранилищ, может приводить к нарушению природного равновесия речных бассейнов [1]

В исследованиях состояния акваторий применяют различные методы. Контактные методы, такие как измерения с помощью датчиков, отбор проб с последующим анализом в лабораториях, позволяют получать надёжные и точные данные о свойствах воды, однако, такие подходы требуют больших затрат времени и труда и дают лишь локальную информацию о состоянии водоёма. В связи с этим получили широкое распространение дистанционные методы – исследования с использованием спутниковых сканеров цвета [2], радиолокаторов СВЧ-диапазона [3] и других приборов.

Альтернативным методом диагностики акваторий и подстилающей поверхности является лазерное дистанционное зондирование с помощью

лидаров. Лидар (LiDAR – Light Detection And Ranging) – прибор, действующий по принципу радара, с тем отличием, что вместо радиоволны используется лазерное излучение оптического диапазона. Аналогично классическим радарам, лидар позволяет по длительности задержки обратного сигнала определять расстояние до интересующего объекта, но также по спектру сигнала получать информацию о строении и свойствах объекта, что является преимуществом лидаров. Лидарное зондирование природных водоёмов позволяет бесконтактно измерять температуру воды [4], концентрацию водорослей и растворённых органических веществ [5]. Эти данные могут быть полезны для оценки экологического состояния водоёма, обнаружения загрязнений антропогенного характера.

В настоящей работе представлены результаты лазерного дистанционного зондирования природного пресного водоёма с помощью компактного лидара.

### **Эксперимент**

Натурные измерения были выполнены на набережной р. Ока в г. Таруса (Калужская область, Россия, 54°43.66' с.ш., 37°11.02' в.д.).

Лидар комбинационного рассеяния был разработан в Институте общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук [6]. Лидар построен на базе импульсного твердотельного лазера с активным элементом из кристалла иттрий-литий-фторида, легированного неодимом, с диодной накачкой и акустооптическим модулятором добротности (Laser Compact, DTL-319QT: 527 нм, 5 нс, 1 кГц, 200 мкДж/импульс). В качестве системы регистрации использован компактный дифракционный спектрометр (Spectra Physics, MS127i), на который установлен матричный ПЗС-детектор со стробируемым усилителем яркости (Andor iStar).

Лидар и управляющий компьютер установили на берегу р. Ока возле пирса. Лазерный пучок направляли на поверхность воды в 2 метрах от берега, с помощью оптической системы лидара собирали рассеянное излучение, направляли на входную щель спектрометра и регистрировали спектр.

## Результаты и обсуждение

Невооружённым взглядом речная вода воспринимается прозрачной (см.

Рис. 1)



Рис. 1. Фотография участка поверхности реки в месте проведения лидарного зондирования.

Однако, спектр рассеянного сигнала указывает на присутствие в воде значительного количества органических веществ. На рисунке 2 приведён спектр обратного рассеяния лазерного излучения в воде из р. Ока, полученный в натурном эксперименте, и, для сравнения, спектр образца дистиллированной воды, зарегистрированный в лабораторных условиях.

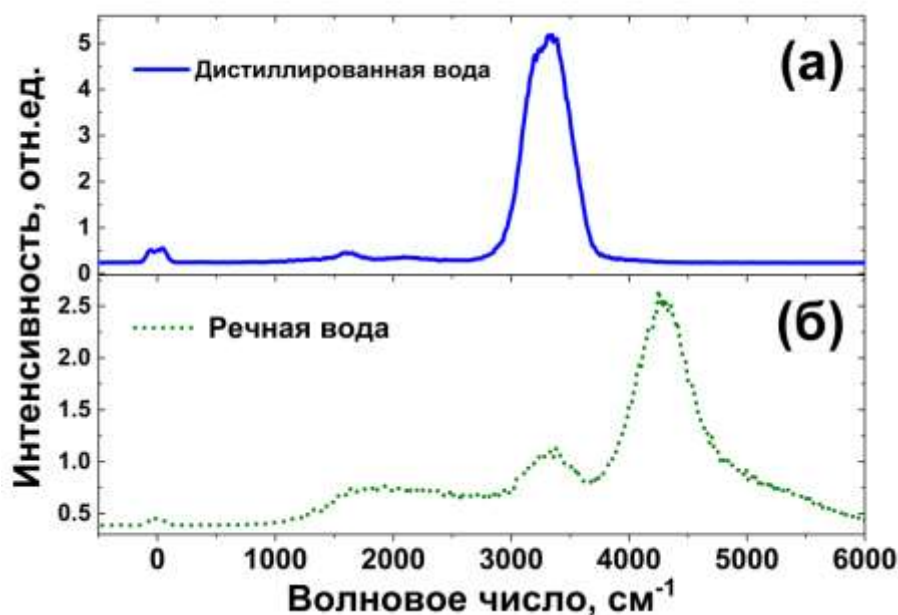


Рис. 2. Примеры спектров обратного рассеяния дистиллированной воды (а) и речной воды (б).

На графиках на Рис. 2 по горизонтальной оси отложено волновое число — единица измерения, широко используемая в спектроскопии, она характеризует величину сдвига по частоте фотонов рассеянного излучения относительно частоты возбуждающего лазерного излучения. Спектр состоит из нескольких компонент: линия вблизи  $0 \text{ см}^{-1}$ , соответствующая упругому рассеянию (без сдвига частоты), полоса на  $3300\text{--}3500 \text{ см}^{-1}$ , соответствующая стоксовой компоненте спонтанного комбинационного рассеяния света на колебаниях О-Н в молекулах воды (так называемая ОН-полоса), и широкие полосы на  $1500\text{--}2500$  и  $4300\text{--}4500 \text{ см}^{-1}$ , соответствующие флуоресценции растворённых в воде органических веществ и хлорофилла микроскопических водорослей. Видно, что в чистой дистиллированной воде полосы флуоресценции отсутствуют, и это даёт возможность по виду спектра оценивать степень загрязнённости воды и обнаруживать органические примеси, например, нефтяные пятна [7].

Из реки были взяты образцы воды, и на следующий день они были измерены с помощью того же лидара в лабораторных условиях в Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН. До измерений образцы хранили в Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

пластиковом сосуде при комнатной температуре. Для проведения эксперимента сосуд слегка встряхнули, и налили образец в прямоугольную стеклянную кювету размерами 50 мм × 20 мм × 35 мм. Измерение дало неоднозначный результат: спектр существенно отличался от такового для натуральных измерений. Было высказано предположение, что растворённые в речной воде органические вещества и микроскопические водоросли за то время, что образец хранился без перемешивания в лаборатории, осели на дне и стенках сосуда. После интенсивного встряхивания сосуда с водой образец был измерен повторно. Результаты двух лабораторных измерений приведены на рисунке 3.

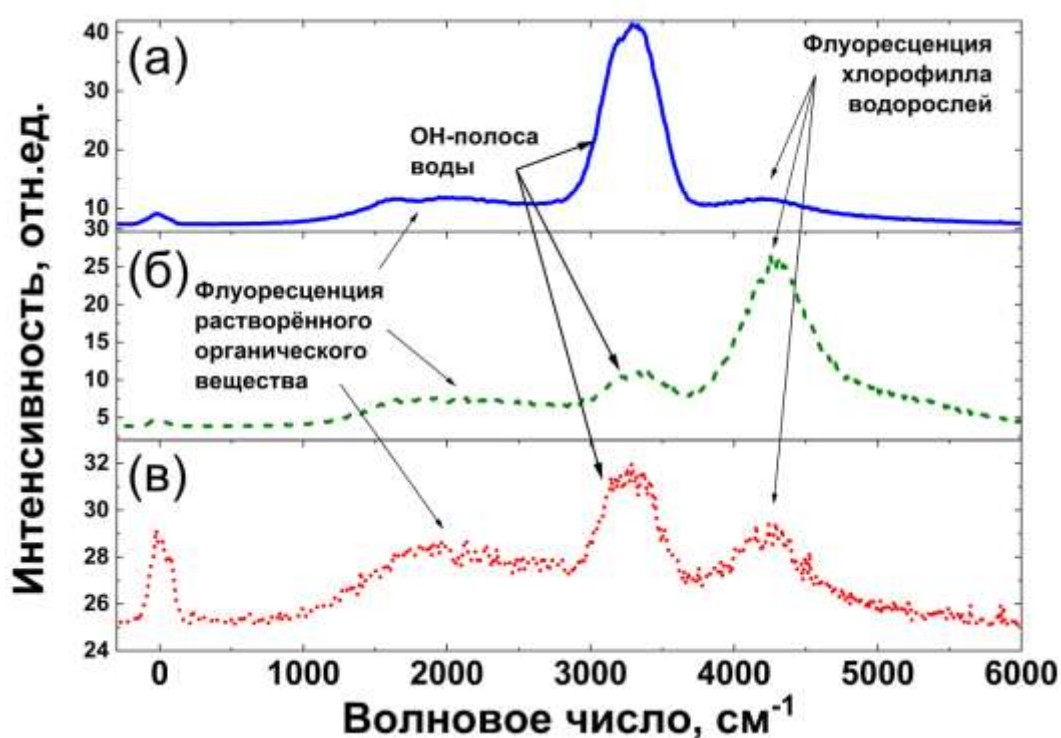


Рис. 3. Спектры обратного рассеяния, полученные с помощью лидара: (а) образец речной воды после суток хранения, (б) речная вода в натуральных условиях, (в) образец речной воды после интенсивного встряхивания сосуда.

Можно видеть, что спектр образца без встряхивания сосуда (Рис. 3(а)) близок к спектру чистой воды (Рис. 2(а)), а спектр образца после сильного встряхивания (Рис. 3(в)) более похож на спектр, полученный в натуральных измерениях воды в реке (Рис. 2(б) и Рис. 3(б)).



## Выводы

В работе зарегистрированы спектры обратного рассеяния лазерного излучения в речной воде, измеренные с помощью компактного лидара комбинационного рассеяния, разработанного в Институте общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук. Проведено сравнение спектров обратного рассеяния образцов речной воды, зарегистрированных в натуральных условиях (*in situ*) и в лаборатории спустя сутки после отбора проб. Полученные результаты указывают на то, что для получения актуальной и достоверной информации о состоянии акватории натурные измерения, в частности, с помощью лазерного дистанционного зондирования, являются предпочтительными, поскольку образцы, отобранные для лабораторной диагностики, могут претерпевать существенные изменения в процессе хранения и транспортировки.

## Библиографический список

1. Лабетиков С.В., Корпачев В.П., Гайденок Н.Д. Анализ влияния крупных водохранилищ на окружающую природную среду // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2006. № 3.
2. Richardson L. Remote sensing of algal bloom dynamics // *Bioscience*. 1996. Vol. 46, № 7. P. 492–501.
3. Ермаков С.А. и др. О возможностях радиолокационной диагностики зон эвтрофирования водоёмов // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49, № 3. С. 336–343.
4. Raimondi V., Cecchi G. Lidar Field Experiment for Monitoring Sea Water Column Temperature // *EARSEL Adv. Remote Sens.* 1995. Vol. 3. P. 84–89.
5. Pershin S.M. et al. Laser remote sensing of Lake Kinneret by compact fluorescence LiDAR // *Sensors*. 2022. Vol. 22. №. 19. P. 7307.

6. Bunkin A.F. et al. Remote sensing of seawater and drifting ice in Svalbard fjords by compact Raman lidar //Applied optics. 2012. Vol. 51. №. 22. P. 5477-5485.
7. Fingas M., Brown C.E. A review of oil spill remote sensing // Sensors. 2017. Vol. 18. №. 1. P. 91.

*Оригинальность 85%*