

ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО И ЛАЗЕРНОГО КОМПЛЕКСА

Буланов А.В.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток,
a_bulanov@poi.dvo.ru*

В связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на экосистемы и вводом международных углеродных налогов актуальным оказывается изучение стоков, эмиссии и «захоронения» углекислого газа в различных средах, которые получили название карбоновых полигонов. Методы оптической спектроскопии позволяют реализовывать непрерывные измерения в реальном времени, как *in-situ*, так и дистанционно. Для решения многих фундаментальных и прикладных задач требуются регулярные измерения, производимые в водной толще [1,2]. Известно применение метода искровой и лазерно-искровой спектроскопии (ЛИС) для элементного анализа жидкостей [1–2], который в отношении оперативности и экономичности потенциально перспективнее по сравнению с традиционными химическими методами, применяемыми в океанологических исследованиях.

Лазерно-искровая спектроскопия твердых объектов является широко используемой технологией, применяется и в промышленности и в научных исследованиях [1-2]. Актуальность изучения механизмов генерации оптического пробоя в жидкости связана с разработкой новых оптико-акустических источников звука и методов оптико-акустической диагностики сред [1], а также с применением метода лазерной искровой спектроскопии для элементного анализа жидкостей [2]. Вместе с тем механизм оптического пробоя при облучении мощным лазерным излучением водных мишеней существенным образом отличается от механизма взаимодействия лазерного излучения с металлами и другими твердыми телами. Со спектроскопическим анализом жидкостей сопряжены трудности, связанные с тем, что, как правило, применяется пробой на поверхности жидкостей, где, в свою очередь, мощный вклад вносят линии атмосферных газов. Выход заключается в использовании пробоя в толще жидкости, так как в этом случае посторонний эффект газа исключается [4]. Однако в этом случае имеется дополнительная трудность, связанная с ослабле-

нием возбуждаемых слабых линий элементов вследствие поглощения в жидкости. Поэтому важным является повышение интенсивности линий при пробое.

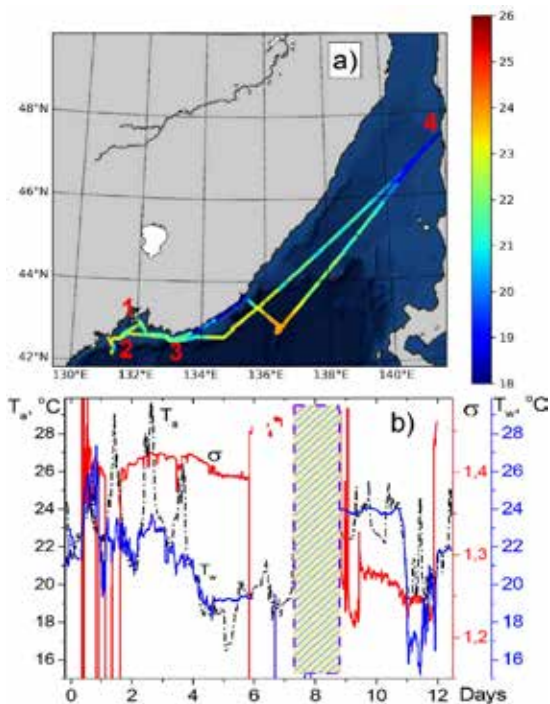
Дополнительное использование воздействия акустического излучения на процесс лазерного пробоя позволило выявить его влияния на повышение интенсивности линий элементов, возбуждаемых при таком комбинированном пробое жидкости. [2] Данная методика была использована для создания автоматизированного комплекса, который позволяет измерять эмиссионные спектры растворенных в воде элементов, мутность, соленость, температуру, концентрацию растворенного кислорода, а также, географические координаты, атмосферное давление, направление движения и характеристики качки судна (включая угловые характеристики – крен и тангаж). Блок-схема комплекса представлена на рис.1. Внутри комплекса установлен микрокомпьютер, позволяющий производить регистрацию и предварительную обработку данных. Микрокомпьютер запускает насос, перекачивающий жидкость через проточную кювету, в которой при помощи датчиков происходит регистрация температуры, солености, мутности и растворенного кислорода.



Рис. 1. Блок-схема автоматизированного комплекса для исследования гидрофизических и спектральных характеристик морской воды

Из проточной кюветы исследуемая жидкость перекачивается во вспомогательную кювету, где при помощи ультразвукового излучателя преобразуется в мелкодисперсный аэрозоль и подается в измерительную кювету, в которой под действием искрового разряда в кювете

Рис. 2. Карта маршрута НИС «Профессор Гагаринский» (а) и распределение температуры воздуха и воды и электропроводности воды (б) в приповерхностном слое на глубине 4 м. Цветом на рис. 2а показана температура воды, заштрихованная область на рис 2б соответствует стоянке судна на якоре в северной точке маршрута.



возникают эмиссионные спектры, характеризующие химический состав исследуемой жидкости. Спектры анализируются при помощи монохроматора М1-44, ПЗС матрицы TCD1304 и платы управления ПЗС матрицей, построенной на базе STM32. Результаты регистрируются и записываются в устройство хранения данных микрокомпьютера. Для анализа полученных спектральных данных создана программа на языке программирования Python. Входными данными для программы являлись наборы файлов изображения спектра пробы данных типа *.csv, сформированные с помощью STM32 и переданные на микрокомпьютер через последовательный порт. Результатом являлся спектр пробы с выделенными спектральными линиями химических элементов. Комплекс был использован в натуральных исследованиях в экспедиции в Японском море и Татарском проливе в рейсе №81 НИС «Профессор Гагаринский» с 1 по 14 августа 2022 г. На рис. 2 показано распределение температуры воздуха и воды и электропроводности воды с высоким пространственным разрешением в зависимости от времени и координат, которые одновременно регистрировались комплексом. На рис.3 представлены линии углерода, полученные в различных координатных точках в верхнем слое Японского моря

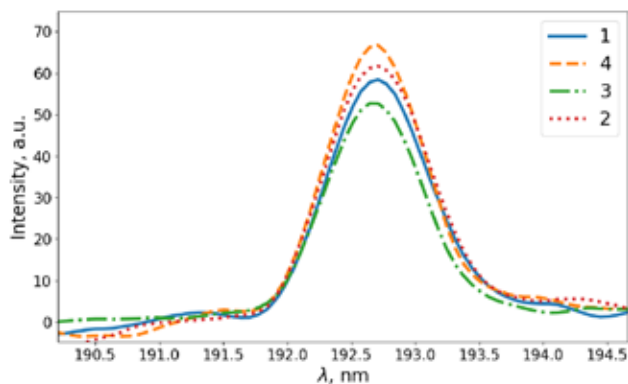


Рис. 3. Интенсивности линий углерода, полученных в различных координатных точках (рис. 2а) в верхнем слое Японского моря.

Итак, в работе представлено описание созданного автоматизированного ультразвукового и лазерного комплекса, который позволяет измерять эмиссионные спектры растворенных в воде элементов в проточном варианте. Комплекс позволяет также наряду с гидрофизическими данными непрерывно регистрировать географические координаты, атмосферное давление, направление движения и характеристики качки судна (включая угловые характеристики – крен и тангаж). В итоге с применением автоматизированного комплекса получены непрерывные данные по характеристикам морской воды на глубине примерно 5 метров вдоль трассы протяженностью около 800 км в Японском море и Татарском проливе в рейсе №81 НИС «Профессор Гагаринский» с 1 по 14 августа 2022 г.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-22-20075).

Литература

1. Noll R. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: Fundamentals and Applications. Springer, Berlin. 2012. 543 p.
2. Bulanov A.V. Using of Ultrasound in Automated Laser Induced Breakdown Spectroscopy Complex for Operational Study of Spectral Characteristics of Seawater of Carbon Polygons // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. Vol. 86. Suppl. 1. P. S32–S36.