

ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ ВОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ КОМПЛЕКСОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИСКРОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Буланов А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

a_bulanov@me.com

Ключевые слова: оптика океана, лазерно-искровая спектроскопия, ультразвук

В условиях увеличивающегося воздействия человека на экосистемы и введения международных углеродных налогов становится крайне важным изучение потоков, выбросов и «захоронения» углекислого газа в различных средах, а также создание соответствующих «карбоновых полигонов». Применение методов оптической спектроскопии позволяет осуществлять непрерывный мониторинг многих характеристик окружающей среды в реальном времени, как непосредственно на месте, так и на расстоянии. Для решения целого ряда фундаментальных и прикладных задач необходимы регулярные измерения, производимые в водном толще. Применение метода искровой и лазерно-искровой спектроскопии (ЛИС) для элементного анализа жидкостей в океанологических исследованиях является актуальным исследованием, но сопровождается с определенными трудностями. Для решения задач исследования Мирового океана был разработан автоматизированный комплекс исследования спектральных оптических характеристик и гидрофизических характеристик верхнего слоя моря проточным методом, который позволяет провести изучение изменчивости оптической и гидрофизической структуры морской среды вдоль трассы судна, пересекающей различные водные массы.

В целях регистрации оптических данных был использован специально разработанный искровой комплекс [1]. Для анализа полученных спектральных данных была создана программа на языке программирования Python, предназначенная для обработки и визуализации статистических данных лазерного пробоя. Входными данными для программы являлись наборы файлов изображения спектра пробоя данных типа *.csv, сформированные с помощью STM32 и переданные на микрокомпьютер через последовательный порт. В программе указывалась длина волны монохроматора при регистрации оптического пробоя. В итоге была получена зависимость интенсивности спектральных линий химических элементов, таких как натрий и кальций, при оптическом пробое в аэрозольном облаке из толщи морской воды посредством ультразвука. Чтобы одновременно регистрировать данные была разработана методика использования микрокомпьютера, который собирает гидрофизические данные через термосоленограф SBE-45 фирмы SeaBird. Последний при подачи питания начинает передавать через последовательный порт данные по температуре, проводимости и солености. Кроме того, для учета вклада в гидрофизическую структуру верхнего слоя океана атмосферных возмущений используются данные, полученные с датчиков, учитывающих состояние поверхности океана, атмосферы и ветра (параметры волнения, давление, скорость и направление ветра, температуру, влажность) [1]. Измерения расшифровываются в режиме реального времени и записываются в базу данных временных рядов influxdb. Далее данные отображаются в реальном времени через web

-интерфейс, и в дальнейшем объединяются по временному признаку и формируются в многомерный машинно-независимый научный формат файлов netCDF. Его в дальнейшем можно просматривать и анализировать большим количеством программ таких как ODV, Matlab и др. Кроме выше перечисленных экспериментальных методов исследования вещества в задачах улучшения чувствительности ЛИС спектроскопии, была решена проблема обработки большого количества данных, поступающих в реальном времени. Необходимо отметить, что оперативная обработка многочисленных спектров, полученных в результате измерений оптического пробоя, связана с проведением детального анализа и представляет в значительном числе случаев трудоемкую процедуру. Стремительное развитие актуальных тенденций, связанных с использованием нейросетей и алгоритмов машинного обучения могло бы прийти на помощь и позволило бы выполнить более точную классификацию, регрессию, кластеризацию и другие операции с выборками для получения информации о спектре и исследовании вещества.

Для дальнейшего повышения чувствительности метода ЛИС предложен анализ сигналов пробоя с применением искусственных нейронных сетей (ИНС), который использовался для оценки вклада растворенного органического и неорганического углерода в карбоновом полигоне [2].

Резюмируя, полученные исследования лазерного пробоя позволили сформулировать основные принципы создания метода комбинированной ультразвуковой лазерной искровой спектроскопии и создать компактный автоматизированный комплекс для изучения спектральных оптических и гидрофизических характеристик верхнего слоя моря с использованием проточного метода. Этот комплекс успешно прошел проверку в экспедиционных условиях в ходе рейса №81 НИС «Профессор Гагаринский» в Японском море в августе 2022 года, а также во время 52-го рейса НИС «Академик Борис Петров» в Атлантическом океане и в плюме реки Амазонки в октябре–декабре 2022 года [1].

Кроме того, на реальном примере углеродного анализа морской среды продемонстрировано успешное применение ИНС, которое позволило частично компенсировать матричные эффекты и самопоглощение при анализе искровых спектров и повысить чувствительность метода ЛИС [2]. Предложенный метод использования ИНС для распознавания сложных спектральных характеристик в задачах ЛИС в режиме реального времени позволяет делать оценку экологичности морских акваторий при мониторинге и исследованиях in-situ. Данный комплекс и методика может иметь большое значение для понимания изменений в составе и свойствах морской воды, а также для изучения экологических процессов, происходящих в данных регионах. Полученные данные могут помочь улучшить наше понимание состояния морских экосистем и динамики изменений в морских водах в различных точках мирового океана.

Работа выполнена в рамках проекта госзадания № FWMM-2024-0032.

Список литературы

- 1) Буланов А.В., Крикун В.А. О возможности элементарного анализа в задачах мониторинга морских акваторий с применением ультразвуковой искровой спектроскопии. Доклады российской академии наук. //Науки о Земле 513, вып. 2. 2023. С. 95–101.
- 2) Буланов А.В. Возможность распознавания сложных спектральных характеристик оптического пробоя с использованием нейронных сетей. Письма в журнал технической физики №2 (50). 2024. С. 10-12.