

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Д.В. Власов, А.М. Прохоров, Д.Ю. Ципенюк, В.С. Букреев

**ДИСТАНЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА МОРСКОЙ ВОДЫ ПО ЭМИССИОННОМУ СПЕКТРУ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ**

Приведены результаты измерения эмиссионных спектров лазерного пробоя, возбуждаемого излучением лазера на Кг—F в морской воде. Отчетливо наблюдаются линии основных элементов, содержащихся в морской воде, что позволяет, в частности, определять соленость воды методом дистанционного лазерного зондирования.

Дистанционное лазерное зондирование океана широко проводится с использованием лидаров, устанавливаемых на самолетах, кораблях и спутниках [1, 2]. Одной из актуальных задач в исследовании океана является определение солености и химического состава морской воды, которая пока практически не решена методом дистанционного оптического зондирования. Возможно определение температуры и солености воды по форме линии комбинационного рассеяния, но в натуральных условиях этот способ труден для реализации. В то же время хорошо известен способ определения химического состава атмосферы, основанный на регистрации эмиссионного спектра лазерного пробоя в атмосфере [3]. В результате разработки метода и аппаратуры дистанционного элементного анализа вещества аэрозолей на основе импульсных эмиссионных спектров лазерной искры получена дальность зондирования 250 м, средняя концентрационная чувствительность элементного анализа для различных веществ 0,1–10 мкг/м<sup>3</sup> при относительной погрешности порядка 30%.

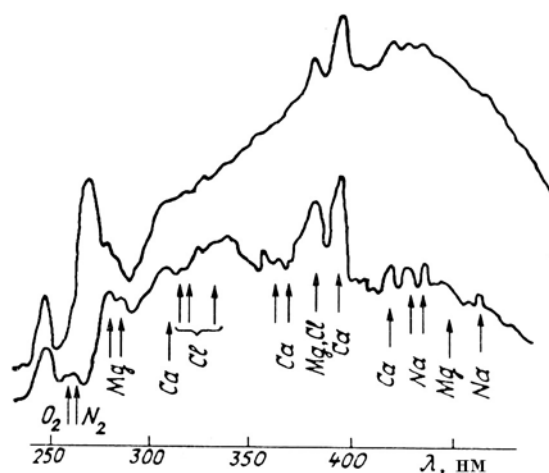


Рис. 1. Эмиссионный спектр морской соли, растворенной в дистиллированной воде (концентрация 50 г/л) — верхняя кривая, нижняя — этот же спектр после вычета спектра, полученного на дистиллированной воде

В данной статье исследовалась возможность определения солености и химического состава воды по эмиссионному спектру лазерной искры, инициированной в морской воде. Источником излучения служил эксимерный Кг—F-лазер (248,5 нм) с энергией излучения в импульсе 60 мДж и частотой повторения 2 Гц. Лазерное излучение направлялось перпендикулярно водной поверхности и фокусировалось кварцевой линзой с фокусным расстоянием 20 см. Морская вода находилась в открытой стеклянной кювете глубиной 10 см. Во избежание попадания френелевского отражения лазерного луча в приемную систему возникающее при лазерном пробое излучение регистрировалось под небольшим углом к вертикали. Приемником служил оптический многоканальный спектроанализатор OSA, работающий в диапазоне 180–1000 нм, дифракционная решетка спектроанализатора имела 150 штрихов на мм, ширина приемной щели равнялась 30 мкм. Перед входной щелью устанавливался интерференционный фильтр для подавления лазерного излучения примерно в 10<sup>4</sup> раз. Эксперименты проводились на растворе морской соли в дистиллированной воде с концентрацией, близкой к естественной (порядка 50 г/л). На рис. 1 приведен один из полученных эмиссионных спектров. Отчетливо видны

линии лазерного излучения (248,5 нм), комбинационного рассеяния в воде (273,3 нм), второй порядок от дифракционной решетки полихроматора (497 нм), которые служили внутренним репером для калибровки спектров по длинам волн. Вблизи лазерной линии видно комбинационное рассеяние на кислороде (258,5 нм) и азоте (263 нм) атмосферы. На фоне непрерывного спектра люминесценции и свечения образующейся плазмы отчетливо проявляется линейчатый спектр. Для повышения контраста спектра нами из полученного спектра вычитался эмиссионный спектр лазерной искры в дистиллированной воде, представляющий собой практически непрерывный спектр. Полученный таким образом разностный спектр также приведен на рис. 1. В спектрах на рис. 1 отчетливо видны линии испускания Na, Cl, Mg, Ca, т.е. элементов, содержащихся в большом количестве в морской воде. Идентифицирование спектральных линий производилось по известным сильным линиям элементов [4].

Как было выяснено нами в экспериментах с лазерным пробоем в растворах чистых солей, наиболее сильные линии в эмиссионном спектре ( $\approx 394$  и  $383$  нм) принадлежат Ca, Mg и Cl, это позволяет с высокой точностью определить соленость воды. На рис. 2 приведены фрагменты спектров дистиллированной воды с разной концентрацией морской соли (соотношение концентраций 1:3). Для качественной проверки возможности метода определения солености спектры нормированы по величине сигнала комбинационного рассеяния воды. В силу того, что все наши модельные эксперименты проводились практически в идентичных условиях, такая нормировка представляется нам естественной, хотя и требует тщательной проверки. Надо отметить, что когда наши эксперименты были закончены, нам стало известно об аналогичных исследованиях в диапазоне 550–800 нм с источником излучения на 1,06 мкм [6].

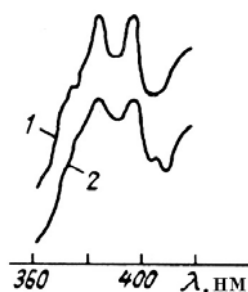


Рис. 2. Фрагменты спектров дистиллированной воды с разной концентрацией морской соли. Концентрация соли в растворе, соответствующем спектру 1, в 3 раза превосходит концентрацию в растворе, соответствующем спектру 2

Таким образом, результаты первых модельных экспериментов указывают на перспективность применения лазерно-иницированного эмиссионного спектрального анализа морской воды в дистанционных натурных измерениях солености и элементного состава морской воды. Несомненно, повышение контраста спектров может быть достигнуто двухимпульсным возбуждением, как это делается в случае облучения диэлектриков и металлов [5], хотя в рассмотренной выше постановке задачи решающими могут оказаться и другие факторы.

Авторы выражают глубокое признание С.К. Вартапетову и А.З. Обидину за большую помощь в проведении экспериментов.

1. Бункин А.Ф., Власов Д.В., Миркамилов Д.М. Физические основы лазерного аэрозондирования поверхности Земли. Ташкент: ФАН, 1987.
2. Mc Cormick M.P. // In: Proc. 15 Int. Laser Radar Conference, 1990. Tomsk. V. 1. P. 2.
3. Самохвалов И.В., Копытин Ю.Д., Ипполитов И.И. и др. Лазерное зондирование тропосферы и подстилающей поверхности. Новосибирск: Наука, 1987.
4. Зайедель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М. и др. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1977.
5. Бухаров А.Ю., Першин С.М. // ЖПС. 1989. Т. 51. № 4. С. 564–571.
6. Букин О.А., Павлов А.Н., Сушилов Н.В. и др. // ЖПС. 1990. Т. 52. № 5. С. 736–738.

Институт общей физики АН СССР,  
Москва

Поступило в редакцию  
4 декабря 1990 г.

D.V. Vlasov, A.M. Prokhorov, D.Yu. Tsipenyuk, V.S. Bukreev. **Remote Analysis of the Sea Water Element Composition Using the Emission Spectra of the Laser Induced Plasma.**

The paper presents some results of measurements of the emission spectra of the sea water breakdown by KrF-laser radiation. Spectral lines of all the basic elements presented in the sea water are distinctly observed in the spectra, that makes it possible to remotely determine the water salinity by laser radar technique.