

**С.М. Глушков, В.В. Фадеев, В.В. Чубаров**

## **ЛАЗЕРНЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ**

Анализируются проблемы лазерной диагностики органических примесей в воде и в связи с этим актуальность разработки многофункционального компактного лазерного спектрометра. Описывается один из вариантов такого спектрометра и обсуждаются результаты его натурных испытаний в экспедиции по реке Волге в июне-июле 1993 г. на теплоходе <Илья Репин>.

### **Введение**

Необходимость анализа природных водных сред с целью определения концентраций в них различных органических примесей (ОП) возникает в целом ряде современных научных и практических проблем, таких как контроль и охрана окружающей среды, изучение миграции органических веществ в Мировом океане и их переноса через границу океан-атмосфера, распределения органических веществ в почвенных водах, контроль качества питьевой воды в системах водоснабжения, контроль сверхчистых и агрессивных водных сред в технологических циклах и т.д. Ввиду уникальности водной среды количество этих проблем практически неограничено и для своего решения требует не только применения всего существующего арсенала методов, но и разработку новых более эффективных методов и соответствующей аппаратуры.

Глобальность распространения ОП водных сред и непредсказуемость появления в них органических загрязнений обуславливают необходимость проведения непрерывного мониторинга и получения результатов в масштабе реального времени. В настоящее время уже имеется целый комплекс методов и средств пассивного зондирования водных сред, которое может быть осуществлено со спутников Земли. Реализация программ спутникового мониторинга водных сред даст возможность, в частности, получать данные о концентрации различных примесей и начать формирование отечественного банка данных о пространственно-временном их распределении в масштабах Земли. Важной составной частью этих программ является разработка высокоэффективных методов и средств активного подспутникового зондирования природных вод – для калибровки и дополнения спутниковой информации. К числу таких методов принадлежат методы лазерной спектроскопии.

### **Методы лазерной флуориметрии**

В диагностике водных сред все большее внимание уделяется развитию оптических методов, среди которых метод лазерной флуориметрии является одним из наиболее эффективных методов. Эффективность этого метода определяется его высокой чувствительностью, экспрессностью, дистанционностью. Наличие флуоресцентных свойств у большинства ОП природных вод обуславливает чрезвычайно широкий диапазон практических приложений метода, [1]. Поэтому большинство лидаров для мониторинга органических примесей в водных средах являются флуоресцентными лидарами (в научной литературе утвердился термин <FLIDAR>).

Сильным ограничением применения метода флуориметрии является зависимость результатов измерений от условий эксперимента и параметров аппаратуры, что приводит к известным трудностям при сопоставлении, интеркалибровке полученных данных. Относительность флуориметрических измерений делает невозможной дистанционную количественную диагностику природных водных сред ввиду неконтролируемости параметров трассы зондирования.

Однако решающим фактором явилось то обстоятельство, что интенсивность флуоресценции ОП (сечение флуоресценции  $10^{-18} \dots 10^{-20} \text{ см}^2 \cdot \text{ср}^{-1}$ ) при их концентрации порядка  $10^{-8} \dots 10^{-12} \text{ М}$  в природных водах оказалось сравнимой по порядку величины с интенсивностью спонтанного комбинационного рассеяния (КР) воды ( $\sim 10^{-29} \text{ см}^2 \cdot \text{ср}^{-1}$ ). Это позволило использовать КР воды

(растворителя) в качестве внутреннего репера и тем самым поставить флуориметрию естественных водных сред на количественную основу при проведении измерений как на пробах, так и дистанционно [2].

Недостатком является слабая селективность метода флуориметрии, обусловленная тем, что ОП, как правило, обладают широкими перекрывающимися полосами флуоресценции. Однако интенсивное развитие численных методов обработки спектров многокомпонентных органических смесей, по-видимому, позволит преодолеть и эту трудность.

Применение лазерной флуориметрии к диагностике природных водных сред в значительной степени ограничено наличием нелинейного эффекта насыщения флуоресценции и фотохимического разложения ОП [3]. Уже при плотностях потока фотонов  $F \sim 10^{24} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , весьма небольших для современных импульсных лазеров, зависимость интенсивности флуоресценции от  $F$  становится существенно нелинейной. Эффект насыщения флуоресценции усложняет методику определения концентраций ОП, однако, с другой стороны, этот эффект может быть использован для идентификации различных ОП в природных водах [4]. Влияние на результат измерения фотохимических процессов, возникающих в ОП под воздействием лазерного излучения, сильно зависит от конкретного объекта и условий наблюдения и должно учитываться в процессе измерений [3].

В настоящее время еще слабо изучены механизмы взаимодействия с лазерным излучением таких сложных природных комплексов, как ОП природных вод. Следовательно, необходимым и важным в практическом отношении этапом является длительное накопление экспериментальных данных, установление эмпирических соотношений между характеристиками объектов и параметрами регистрируемых эхосигналов. Именно пока поэтому аппаратная реализация значительно опережает методическое обеспечение.

### **Флуоресцентные лидары для контроля нефтяных загрязнений водных сред**

Большинство <нефтяных> лидаров создавалось для обнаружения нефтяных пленок на поверхности воды, их количественной и качественной диагностики (определения толщины пленки, идентификации нефти или нефтепродуктов).

В первых работах в качестве источников излучения в лидаре применялись азотный лазер ( $\lambda = 337 \text{ нм}$ ) или лазер на рубине с удвоением частоты ( $\lambda = 347 \text{ нм}$ ) [5,6]. В приемной системе использовался телескоп с апертурой 30 см, набор интерференционных фильтров и ФЭУ. Такие системы позволяли уверенно регистрировать спектры флуоресценции нефтяных загрязнений (НЗ) с расстояния до 300 м.

В 1977 г. в Японии проводился натурный эксперимент с использованием уже ИАГ: Nd<sup>3+</sup>-лазера со второй ( $\lambda = 532 \text{ нм}$ , 3 МВт) и четвертой ( $\lambda = 266 \text{ нм}$ , 200 КВт) гармониками с длительностью импульса 8 нс, частотой повторения импульсов 30 Гц [7]. Приемной системой служил телескоп апертурой 50 см и стробируемый оптический многоканальный анализатор типа ОМА-1 фирмы PARC, США. Различные типы нефтепродуктов разливались на поверхности воды в специальном контейнере и зондировались с расстояния 30 м. Исследование различных режимов диагностики показало, что на расстоянии 10 м для пленки керосина толщиной 20 мкм при  $\lambda = 266 \text{ нм}$  соотношение сигнал-шум составляет 15, а при  $\lambda = 532 \text{ нм}$  для пленки нефти той же толщины – примерно 100.

Для идентификации искусственных разливов нефтепродуктов был создан и испытан самолетный лидар с N<sub>2</sub>-лазером (1 мДж, 3 нс, 100 Гц), телескопом (30 см) и системой регистрации на основе стробируемых МКП и линейки фотодиодов [8]. С помощью интерфильтров со спектральной полушириной 20 нм диапазон 380...690 нм был разбит на 16 каналов. Чувствительность системы оценена на уровне 50 фотонов. Очевидное достоинство этого лидара – возможность проведения не только спектральных, но и кинетических измерений путем стробирования 16 приемников. В [9] с помощью аналогичного лидара измерена кинетика сигнала КР в зависимости от глубины зондирования. Этот результат чрезвычайно важен для разработки методов зондирования с использованием сигнала КР в качестве репера.

В [10] проводилось сравнение N<sub>2</sub>- и KгF-лазеров для поиска оптимального источника излучения в лидарах. Различные типы смесей нефтепродуктов зондировались с расстояния 43 м. В случае использования KгF-лазера регистрация флуоресценции велась через телескоп на

ОМА-1 с УФ-сцинтиллятором, а в случае N<sub>2</sub>-лазера – через телескоп и ФЭУ. Как показали расчеты, для высоты зондирования 150 м при одинаковой энергии в импульсе KrF обеспечил бы лучшее соотношение сигнал-шум.

Аналогичное сопоставление в лабораторном эксперименте трех ТЕА-лазеров KrF ( $\lambda = 249$  нм), ХеСl ( $\lambda = 308$  нм) и N<sub>2</sub> проведено в [11]. Средние энергии излучения всех лазеров нормализовались на уровне 1 мДж и для регистрации спектров во всех случаях использовался анализатор ОМА-2 фирмы PARC (США) с УФ-сцинтиллятором. По утверждению авторов, при дистанционной регистрации 5 различных типов нефтей наиболее эффективным, в смысле надежности и числа вспышек на одну заправку газовой смеси, оказался ХеСl-лазер. Минимально-обнаруживаемая толщина пленки нефтей составляла 0,01 мкм, причем пленки толщиной 0,1 мкм легко регистрировались с одной вспышки лазера.

Интересная разработка океанографической лидарной системы выполнена недавно [12]. В качестве источников излучения использованы эксимерный лазер ( $\lambda = 308$  нм, 10 МВт, 12 нс, 10 Гц) и лазер на красителе ( $\lambda = 450$  нм). Система регистрации построена на базе телескопа апертурой 0,4 м, после которого световой поток разделялся интерфильтрами на семь скоростных ФЭУ, стробируемых раздельно. Обработкой информации и поворотом телескопической системы управляла микроЭВМ LSI-11/23. Спектральный диапазон был разбит соответственно на 7 каналов полушириной ~10 нм: 344, 366, 380, 450/500, 533, 650, 685 нм. Каналы 344, 366, 380 нм выбраны для выделения КР на фоне флуоресценции растворенного органического вещества (РОВ). Данная система использовалась в соответствии с программой MARPOL на искусственных разливах с судов и, по утверждению авторов, позволила определить толщины пленок в диапазоне 0,1...10 мкм и даже идентифицировать их. При этом отмечается, что параллельные измерения пленок радаром и УФ/ИК-камерами не дали результата.

Одновременное использование спектральной и кинетической информации положено в основу разработки бортового лидара [13]. Источник излучения – ИАГ: Nd<sup>3+</sup>-лазер ( $\lambda = 355$  нм, 4 мДж, 10 Гц) с укороченным лазерным импульсом (~3 нс). Выносной объектив связан с лазером и полихроматором через систему световодов. Спектральный диапазон (350...700 нм) разбит на 4 канала с полушириной 10 нм, регистрируемые скоростными ФЭУ. В случае кинетических измерений между ФЭУ и полихроматором устанавливаются задержки на световодах. Лидар требует предварительной калибровки на пленках с известными коэффициентами поглощения. При дистанционной диагностике до 30 м полученный двумерный массив сравнивается с собственным банком данных на 50 спектров и идентифицирует объект в масштабе реального времени.

Таким образом, лидарная техника на основе лазерной флуориметрии для дистанционного мониторинга нефтяных пленок на поверхности воды в последнее время успешно совершенствуется. Однако круг проблем, которые необходимо решать при диагностике водных сред, гораздо шире. Первоочередной из них, по нашему мнению, является разработка новых методов и аппаратуры для определения ОП в толще воды, ибо нефтяные загрязнения (НЗ) именно в этой форме существуют в воде особенно длительное время, наиболее токсичны и по этим причинам представляют наибольшую опасность для водной экосистемы. В то же время разработка методов диагностики НЗ в объеме воды сталкивается с куда большими трудностями, чем обнаружение пленок [15,17].

ЮНЕСКО разработан препаративный метод определения НЗ, основанный на экстрагировании НЗ из воды с помощью органических растворителей и последующем определении концентраций НЗ в экстрактах методом флуориметрии [14]. Наши исследования показали, что применение в методе ЮНЕСКО для возбуждения флуоресценции излучения ИАГ: Nd<sup>3+</sup>-лазера ( $\lambda = 266$  нм) позволяет не только увеличить чувствительность метода на порядок (до уровня 1 мкг/л), что существенно ниже уровня ПДК (50 мкг/л), но и проводить грубую идентификацию НЗ [17].

Однако применение лазеров ультрафиолетового диапазона для дистанционной диагностики ОП в толще воды наталкивается на определенные трудности. Во-первых, пена на поверхности воды, состоящая из поверхностно-активных органических веществ, создает интенсивный флуоресцентный фон и практически полностью рассеивает лазерное излучение. Во-вторых, при отсутствии пены сильное поглощение поверхностных вод (порядка 1 м<sup>-1</sup> для морских вод), в основном из-за присутствия РОВ, не позволяет зондировать глубокие водные слои в ультрафиолетовом диапазоне спектра.

Одним из выходов в этой ситуации является создание лазерного анализатора с проточной кюветой. Такой анализатор был разработан и успешно использовался нами в 1985 г. в 13 рейсе НИС <Профессор Штокман> для непрерывной круглосуточной регистрации на ходу судна на протяжении 18 000 миль распределения флуоресценции РОВ в различных акваториях Мирового океана [16].

Более эффективным, на наш взгляд, способом определения пространственно-временного распределения ОП в толще воды при проведении мониторинга может быть использование световодного кабеля, буксируемого за судном, либо погружаемого на станциях. В настоящее время отечественная промышленность производит по спецтехнологии световоды диаметром ~0,5 мм с малым затуханием (менее 10 дБ/км) вплоть до длин волн 250 нм. Подобные световоды, с отводами на разных глубинах, позволили бы исследовать стратификацию природных вод практически во всей фотической зоне. Излучение лазера, расположенного на борту судна, вводится в световод и возбуждает на глубине микрообъем воды (~0,05 мл). Эхосигнал через скрещенный обратный световод регистрируется приемной оптической системой на борту судна.

По компактности и гибкости применения подобные системы не имели бы аналогов и, возможно, уже в ближайшее время они будут созданы и получают широкое распространение в мониторинге ОП природных вод. Описываемый ниже многофункциональный лазерный спектрометр мы рассматриваем не только как самостоятельное средство диагностики водных сред, но и как часть такого рода системы.

### **Многофункциональный компактный спектрометр**

При разработке лазерного спектрометра мы исходили из того, что этот достаточно дорогой прибор должен быть многофункциональным, т.е. определять в различных режимах мониторинга возможно более широкий набор ОП в различных формах их существования в природных водах.

Накопленный нашей лабораторией материал, полученный более чем в 20 морских экспедициях, позволяет сформулировать основные требования к такого рода современному анализатору:

1. Наличие высоконадежного малогабаритного лазерного источника с набором частот в УФ- и видимом диапазоне.
2. Система регистрации должна обеспечивать:
  - а) спектральный диапазон регистрации не менее 250...800 нм;
  - б) чувствительность на уровне единиц фотонов;
  - в) динамический диапазон не менее  $10^3$ ;
  - г) возможность стробирования импульсами не длиннее чем 1 нс.

Если требованиям к лазерному источнику вполне удовлетворяют отечественные ИАГ: Nd<sup>3+</sup>-лазеры с умножителями частоты (здесь надо лишь несколько сократить длительность импульса), то требованиям к системе регистрации в настоящее время полностью может соответствовать только оптический многоканальный анализатор ОМА-4 фирмы PARC (США), стыкованный со стрик-камерой фирмы Hamamatsu, Япония.

Тем не менее по заказу АО <Экологические системы> нами был создан образец отечественного малогабаритного спектрометра, близкий по характеристикам к указанным: чувствительность на уровне 10 фотонов, однако соотношение сигнал-шум на порядок ниже, чем у ОМА-1; динамический диапазон – 256, но может быть расширен до  $10^3$  при последующей модернизации; минимальная длительность строба ~50 нс.

Спектрометр обеспечен алгоритмами и компьютерными программами для определения концентраций важнейших органических примесей в природных водах: природного РОВ; нефтяных загрязнений; ряда красителей; белков. Созданный в нашей лаборатории научно-технический задел [15] позволяет дополнить методическое обеспечение спектрометра алгоритмами и программами для определения и других параметров: хлорофилла <a>, входящего в состав клеток фитопланктона; температуры и солености воды; парциальных концентраций твердой и жидкой фаз в гетерофазных водных системах (лед, снег); состава жидких технологических сред, используемых в микроэлектронике (смесь Каро, особо чистая вода и другие); концентрации взвешенных частиц; толщины нефтяной пленки на поверхности воды.

Выполнение указанных функций основано на измерении интенсивностей выбранных спектральных компонент в оптическом отклике объекта на лазерное возбуждение. В основе всех ал-

горитмов получения информации о параметрах объекта положен метод внутреннего репера, обеспечивающий высокую точность получения данных и стандартизацию их измерения [1].

Спектрометр работает в двух режимах:

– режиме анализа проб, помещаемых в кювету или прокачиваемых через прокачную кювету перистальтическим насосом;

– режиме дистанционного зондирования с расстояния до 50 м (режим лидара).

Конструкция прибора позволяет перекомпоновывать его для перехода от одного режима к другому за несколько минут.

В состав спектрометра входит:

1. ИАГ: Nd<sup>3+</sup>-лазер (10 нс, 5 Гц) с умножителями частоты: 532 нм (20 мДж); 355 нм (10 мДж); 266 нм (5 мДж). Рабочая длина волны устанавливается сменой фильтров внутри излучателя лазера. Масса излучателя с блоком питания и блоком охлаждения не превышает 7 кг при габаритах 500×400×150 мм<sup>3</sup>.

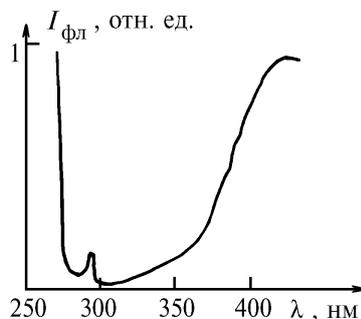
2. Анализатор спектров МАС-22УФ (512 каналов, мишень 0,5×12,5 мм<sup>2</sup>), дополненный нами интерфейсом связи с IBM-совместимым компьютером и соответствующим математическим обеспечением для обмена информацией.

Сборная конструкция и малые габариты спектрометра облегчают его транспортировку и монтаж на рабочем столе произвольных размеров и конфигурации.

Данный спектрометр использовался в экспедиции по Волге в июне–июле 1993 г. на теплоходе <Илья Репин> для диагностики ОП в варианте с проточной кюветой и ИАГ: Nd<sup>3+</sup>-лазером ( $\lambda = 266$  нм). Заборная вода прокачивалась через кварцевую кювету перистальтическим насосом по специальному шлангу, опущенному в металлическую трубу, закрепленную на борту судна. Такая схема обеспечивает необходимую чистоту отбора проб воды.

Через кварцевый конденсор и полихроматор спектр регистрировался анализатором МАС-22УФ. Полученные спектры отображались на дисплее монитора и при необходимости записывались на гибкий диск как в формате Apple-II, так и в формате IBM. Время регистрации спектра не превышало 30 с.

Спектр экосигнала воды р. Волги в районе Плес приведен на рисунке. Программная обработка спектра дает величину флуоресцентного параметра  $\Phi = A_{\text{фл}}/A_{\text{кр}}$ , где  $A_{\text{фл}}$ ,  $A_{\text{кр}}$  – интенсивности в максимумах полос флуоресценции и комбинационного рассеяния (КР) соответственно. От величины  $\Phi$  осуществляется переход к <ненасыщенному> флуоресцентному параметру  $\Phi_0$ , который связан линейной зависимостью с концентрацией определяемой примеси.



Спектр интенсивности ( $I_{\text{фл}}$ ) экосигнала воды в районе Плес реки Волги при возбуждении излучением  $\lambda = 266$  нм

Натурные испытания, проведенные в этой экспедиции, позволили выявить трудности, возникающие при зондировании речных вод.

Прежде всего, высокие концентрации РОВ обуславливают очень интенсивную широкую полосу флуоресценции с максимумом на 425 нм, медленно спадающую в области КР воды ( $\lambda = 290$  нм) и создающую сильный фон, мешающий определению концентраций НЗ.

Были выявлены конструктивные и программные недоработки прибора МАС22-УФ, которые мешают реализации потенциальных возможностей спектрометра:

а) неудачное соотношение размера мишени МАС-22УФ и области дисперсии использованного в приборе малогабаритного полихроматора, работающего в высоких порядках дифракции;

б) программное обеспечение не предусматривало режима перенакопления спектра, т.е. накопление спектра автоматически прекращалось по достижению сигналом максимума в любом из 512 каналов, что не позволяло вытащить слабый сигнал флуоресценции НЗ в области 320 нм при наличии интенсивных линий рассеяния Ми и флуоресценции РОВ.

В дальнейшем, после экспедиции, полихроматор был заменен соответствующим образом переделанным монохроматором МУМ-1 с вогнутой решеткой Роуанда (300 штр/мм), а программное обеспечение доработано.

Тем не менее в результате измерений в различных акваториях р. Волги были получены величины параметра  $\Phi_0$  для РОВ, которые приведены в таблице. Там же даны значения  $C_{\text{орг}}$ , измеренные на анализаторе углерода Люцарева, причем вода на определение  $C_{\text{орг}}$  отбиралась из шланга проточной кюветы спектрометра.

Как следует из таблицы, величины коэффициента связи  $\alpha = C_{\text{орг}}/\Phi_0$  близки друг к другу. Это позволяет ожидать достаточно высокого коэффициента корреляции для статистически обеспеченного массива данных. Отметим, что вопрос о корреляции между  $C_{\text{орг}}$  и флуоресценцией РОВ далеко не ясен и требует проведения комплексных исследований [17].

Результаты измерений суммарного органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ , мг/л) и флуоресцентного параметра  $\Phi_0$  (отражающего содержание РОВ) в экспедиции на теплоходе <Илья Репин> (июнь–июль 1993 г.)

№ п/п	Дата	Время	Расстояние от Москвы, км	Ориентир	$C_{\text{орг}}$ (мг/л)	$\Phi_0$	$\alpha = C_{\text{орг}}/\Phi_0$
1	30.06	19.15	555	г. Кострома	13,0	24,3	0,53
2	30.06	21.40		Плес	10,4	18,1	0,57
3	1.07	8.00	806	г. Городец	13,7 (12,5*)	–	–
4	1.07	10.40		Балахна	12,1	21,5	0,56
5	2.07	19.15	861	г. Нижний Новгород	14,6	29,6	0,49
6	2.07	23.40		Шлюз	–	63,5	–
7	3.07	17.00	614	Плес	–	16,3	–
8	3.07	21.15	614	Плес	13,4	20,7	0,64
9	3.07	22.15	–	Плес	13,8 (13,7**)	29,8	0,46
10	4.07	18.40	–	г. Ярославль	14,9	17,6	0,84
11	4.07	19.50	–	п. Подосеново	18,3	17,1	1,07
12	5.07	18.30	190	п. Новоокатово	17,1	31,0	0,55
13	6.07	10.30	233	г. Тверь	14,5	–	–
14	6.07	18.15	–	г. Тверь	13,9	18,6	0,74
15	30.06	(проба воды из судового водопровода)			10,6	–	–

\* Измерение пробы N 3 через 1 день (без консервации).

\*\* Повторение измерения пробы N 9.

По указанным причинам прямая диагностика НЗ в воде оказалась невозможной. Поэтому взятые в городах Нижнем Новгороде и Ярославле пробы воды были проэкстрагированы чистым гексаном для последующего измерения по отработанной схеме [15]. Однако при экстрагировании проб воды гексаном в делительной воронке на границе раздела образовалась устойчивая пена, которая не исчезала в течение двух суток. Это указывает на присутствие в воде очень высоких концентраций поверхностно-активных веществ – детергентов. С учетом этого измерения параметра  $\Phi_0$  в гексановых экстрактах не проводились ввиду невозможности правильного определения соотношения объемов исходной пробы и экстракта.

Таким образом, лазерная диагностика ОП в водах типа р. Волги (в их современном бедственном экологическом состоянии), в отличие от морских вод, имеет свою специфику, определяемую высокой концентрацией сложной смеси самых разнообразных ОП бытовых стоков. Однако не вызывает сомнений, что при соответствующей аппаратурной и методической доработке, которая уже нами началась, возникшие препятствия будут преодолены и предлагаемый лазерный спектрометр найдет применение в диагностике не только морских, но и речных вод.

1. Чубаров В. В. //Определение органических примесей в воде методом лазерной флуориметрии с калибровкой по комбинационному рассеянию света. Дис. .... канд. физ.-мат. наук, 1984. 199 с.
2. Клышко Д. Н., Фадеев В. В. // ДАН СССР. 1978. Т. 238. N 2. С. 320 – 323.
3. Филиппова Е. М. et al.// Proc. of XVII Congress ISPRS'92. Washington. USA. 2 – 14 Aug. 1992. in: IAPRS. XXIX. Part B7. Comission VII. P. 631 – 634.
4. Фадеев В. В. и др.// ДАН СССР. 1982. Т. 262. N 2. С. 338 – 341.
5. Houston W. R. et. al.//The use of lasers for hydrographic studies. NASA. 1975. SP-375. P. 133 – 170.
6. Kim H. H., Hickman G. D. //The use of lasers for hydrographic studies. NASA. 1975. SP-375. P. 1454 – 1459.
7. Sato T. et al.//Appl. Opt. V. 17. N 23. P. 3798 – 3803.
8. O'Neil R. A. et al.//Appl. Opt. V. 19. N 6. P. 863 – 870.
9. Hoge F. E., Swift R. N. //Appl. Opt. V. 22. N 1. P. 37 – 47.
10. Capelle G. A., Franks L. A. //Appl. Opt. V. 18. N 21. P. 3579 – 3586.
11. Burlamacchi P. et al.//Appl. Opt. V. 22. N 1. P. 48 – 53.
12. Hengsternann T., Reuter R. //Appl. Opt. V. 29. N 22. P. 3218 – 3227.
13. Климкин В. М., Соковиков В. Г., Федорищев В. Н. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 2. С. 189 – 204.
14. International Oceanographic Comission. IOC/UNESCO. Manuals and Guides. N 13. Paris. 1984. P. 35.
15. Fadeev V. V. //Proc. SPIE. 1992. V. 1922. P. 410 – 420.
16. Chubarov V. V. et al.// II Conf. RSMCE New Orleans. USA. 1 – 2 Febr. 1994. Program. P. 29.
17. Глушков С. М., Фадеев В. В. и др.//Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 4. С. 433 – 449.

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию  
17 января 1994 г.

**S. M. Glushkov, V. V. Fadeev, V. V. Chubarov. Laser Spectrometers for Diagnostics of Organic Matter in Natural Waters.**

In this paper we deal with the problems from laser diagnostics of organic matter in water. In this connection we show that development of a multifunctional compact laser spectrometer is an urgent problem of such a diagnostics approach. We present in this paper a version of such a spectrometer and discuss some results of its tests during an expedition to Volga river in June–July 1993 on board of ship <И'я Репин>.