

В.М. Климкин, М.М. Макогон, В.Н. Федорищев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЯНЫМИ ПЛЕНКАМИ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОЕМОВ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Представлены результаты натуральных испытаний дистанционного спектрофлуориметра для обнаружения и анализа пленок нефтепродуктов на водной поверхности, проведенных летом 1993 г. в бассейне Верхней Волги с борта теплохода <Илья Репин>. Проведено описание конструкции и алгоритма работы флуориметра. Метод проведения измерений учитывал значительную протяженность трассы. Приведены записи сигналов в каналах измерения интенсивностей и времен затухания флуоресценции для двух случаев регистрации разливов нефтепродуктов. Представлен фрагмент обобщенных данных для участка протяженностью 200 км вблизи г. Ярославля. Отмечен высокий уровень фоновой флуоресценции воды исследованных водоемов, требующий улучшения конструкции флуориметра.

Водоемы Верхней Волги, входящие в систему канала <Москва – Волга>, питающие водой промышленно развитые районы России с высокой плотностью населения, являющиеся трассой интенсивного судоходства, подвержены опасности загрязнения нефтепродуктами. Непосредственно после поступления нефтепродуктов в воду загрязнения имеют вид пленок, различных по толщине и площади, и могут быть обнаружены как методами, связанными с забором проб, так и дистанционными неконтактными методами. В ИОА СО РАН для неконтактного обнаружения и анализа пленок нефтепродуктов на водной поверхности был разработан дистанционный спектрофлуориметр. Этот прибор был установлен на борту теплохода <Илья Репин> для проведения испытаний самого прибора в условиях пресноводного водоема и для исследования загрязнения водной поверхности пленками нефтепродуктов на трассе Москва – Нижний Новгород – Москва.

Принцип действия спектрофлуориметра основан на облучении поверхности воды импульсом ультрафиолетового лазерного излучения и регистрации оптического сигнала флуоресценции от поверхности воды, возникающего при таком облучении. Чистые природные воды всегда содержат некоторое количество растворенного органического вещества и минеральную взвесь, создающих при воздействии зондирующего фоновый флуоресцентный сигнал. Нефтепродукты, включая сырую нефть, характеризуются относительно высокими величинами квантовой эффективности флуоресценции (до 90%), поэтому на фоне флуоресценции чистых природных вод можно наблюдать сигналы довольно тонких пленок нефтепродуктов. Многочисленные исследования показали, что предельно малые толщины пленок, обнаруживаемые по их флуоресценции, определяются сортом нефтепродукта, длиной волны излучения, возбуждающего флуоресценцию, конструктивными особенностями флуориметра и чистотой воды в приповерхностном слое.

Во флуориметре, созданном в ИОА СО РАН, заложен принцип спектрально-временного компьютерного анализа сигналов флуоресценции. Этот принцип базируется на специальных лабораторных исследованиях, показавших возможность идентификации нефтепродуктов по временам затухания их флуоресценции [1], и реализуется при облучении водной поверхности коротким (2 нс) лазерным импульсом УФ-излучения и выделении из спектра флуоресценции ряда спектральных участков, в которых производятся измерения интенсивностей $I_{\text{фл}}$ и времен затухания флуоресценции τ .

На основе анализа полученных данных встроенным компьютером производится идентификация вида или сорта нефтепродукта. Идентификация осуществляется на основе сопоставления полученных данных с данными, предварительно заложенными в компьютерный банк. Компьютерный банк данных сформирован на базе систематических лабораторных исследований. Однако он может быть дополнен в любой момент данными, полученными в результате контрольного разлива нефтепродукта или другого флуоресцирующего агента на водной поверхности. В банке данных, полученных лабораторным путем, содержатся также коэффициенты поглощения излуче-

ния для разных нефтепродуктов в выделенных спектральных участках, что позволяет вычислить для них толщину пленки.

Блок-схема флуориметра представлена на рис. 1. Его конструктивной особенностью является блочное исполнение с передачей оптических сигналов между блоками по моноволоконным линиям связи. Такое конструктивное решение позволяет размещать основные оптико-электронные компоненты в помещениях судна, вне помещений (на фальшборту) устанавливается только приемопередающий объектив. В данном флуориметре принятый от водной поверхности флуоресцентный сигнал регистрируется в 4-х спектральных каналах. В каждом из них определяется интенсивность и время затухания флуоресценции.

Результаты лабораторных испытаний флуориметра представлены в таблице.

Загрязнение пленками нефтепродуктов поверхности вод носит характер пятен. Размеры представляющих экологическую опасность пятен превышают единицы и десятки метров. При измерениях загрязнений такого сорта (во время движения судна) возникают методические проблемы. Во-первых, необходимо обнаружить пятна, оценить их размеры и частоту появления. Во-вторых, несмотря на значительную протяженность трассы, необходимо получить ограниченную по объему, пригодную для обработки информацию.

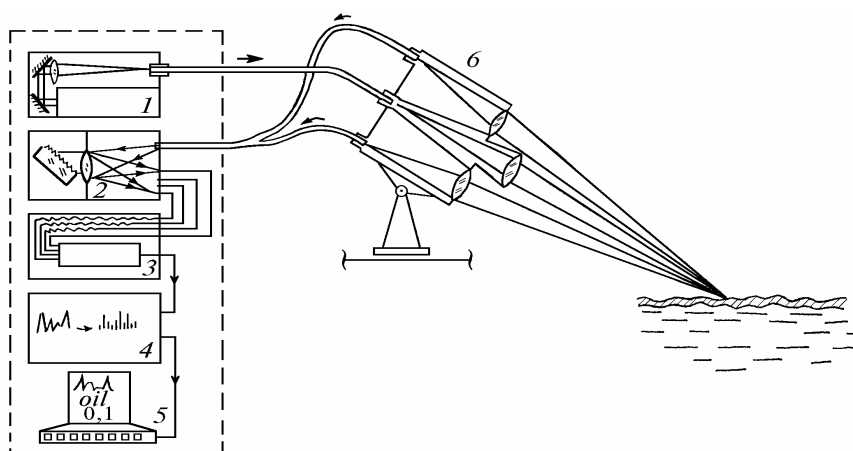


Рис. 1. Схема дистанционного спектрофлуориметра для анализа пленок нефтепродуктов на поверхности вод: 1 – импульсный лазерный источник УФ-излучения; 2 – полихроматор; 3 – 4-канальная система регистрации оптических сигналов; 4 – быстрый 4-канальный АЦП; 5 – персональный компьютер; 6 – приемопередающий объектив

Учитывая сказанное, был выбран циклический режим работы флуориметра. Цикл состоял из активной фазы, в течение которой проводилось 25 актов зондирования с частотой 1 имп/с, и пассивной, равной 10÷30 мин, в течение которой измерения не проводились. При скорости судна 18 км/час протяженность такого цикла соответствует 3÷10 км водной поверхности, из которых длина участка зондирования равна 125 м.

Фрагмент таблицы результатов лабораторных испытаний флуориметра

Вид Нефтепродукта	Расчетная толщина пленки, мкм	Результаты измерений	
		идентификация	толщина
Нефть	2	да*	2,1±0,5
Нефть	4	да	4,3±0,5
Дизельное топливо	60	да	57±10
Дизельное топливо	120	да	110±10

*«Да» обозначает, что идентификация произведена правильно.

На рис. 2 и 3 представлены в качестве примера распечатки результатов одного из циклов измерений, выполненных в районе п. Новоокатово. Каждая из четырех кривых соответствует результатам измерений в отдельном спектральном канале. На рис. 2 видны 3 участка протяженностью 20 м, характеризующихся как более высокой интенсивностью (4-кратное превышение над сигналами фоновой флуоресценции), так и большими временами затухания. По-

добные случаи мы интерпретируем как прохождение участка разлива нефтепродуктов. Судя по коротким временам затухания, это могут быть пленки легких нефтепродуктов – бензина либо дизельного топлива.

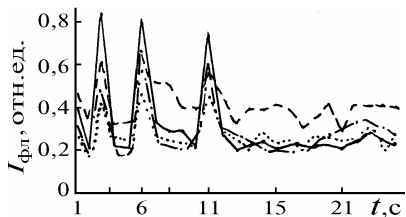


Рис. 2. Распечатка результатов измерений интенсивности флуоресцентных сигналов от водной поверхности при 25 последовательных актах зондирования в 4-х спектральных каналах флуориметра

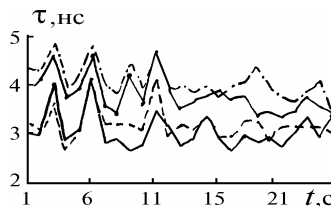


Рис. 3. Распечатка представленных на рис. 2 результатов измерений времен затухания флуоресценции, соответствующих измерениям интенсивностей

Рис. 4 демонстрирует еще один типичный вид записи сигнала, который мы интерпретируем как разлив с периодической структурой пятен. Такая структура может формироваться либо естественным волнением, либо волнением в кильватерном следе судна.

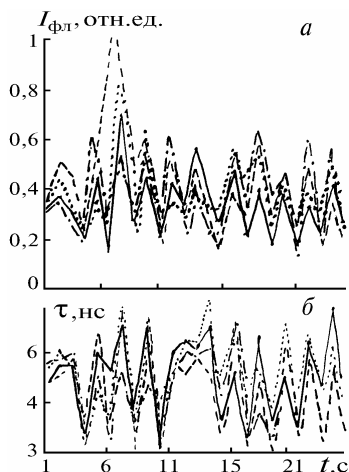


Рис. 4. Изменения интенсивности (а) и времен затухания (б) флуоресценции в спектральных каналах флуориметра при прохождении судном участка разлива с периодической структурой пленки

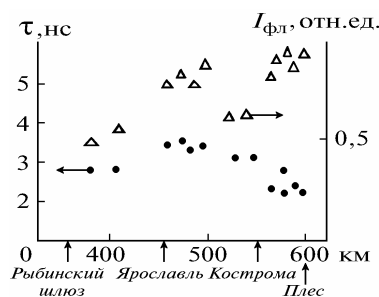


Рис. 5

На рис. 5 представлен фрагмент обобщенных данных, включающий параметры сигналов, интерпретируемых флуориметром как сигналы от пленок нефтепродуктов на водной поверхности, их число и пространственное распределение на участке трассы движения теплохода порядка 200 км в районе г. Ярославля. Как видно из рисунка, эти случаи достаточно редки, хотя фрагмент соответствует наиболее «грязному» участку из исследованных нами.

Для калибровки флуориметра и сопоставления натуральных данных с результатами лабораторных исследований несколько раз по трассе движения теплохода были произведены контрольные разливы нефтепродуктов. Они показали, что вследствие высокой интенсивности фоновой флуоресценции водной поверхности флуориметр обнаруживал только относительно толстые пленки ($h \geq 10$ мкм) темных нефтепродуктов (масло, дизельное топливо).

Следовательно, представленные на рис. 2–5 результаты соответствуют обнаружению только таких пленок. В действительности, в теплых водах спектр толщин должен содержать в основном не толстые «свежие» пленки, а тонкие ($h \leq 1$ мкм). Поэтому полученные результаты носят, безусловно, качественный характер. Однако адаптация флуориметра к подобным водоемам, направленная на использование физических и технических возможностей подавления сигналов фоновой флуоресценции воды, может улучшить как обнаружительные, так и аналитические возможности флуориметра и использовать его для оперативного контроля состояния водной среды.

1. Климкин В.М., Соковиков В.Г., Федорищев В.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. №2. С. 189 – 204.

Институт оптики атмосферы
СО РАН, Томск

Поступила в редакцию
25 января 1994 г.

V.M. Klimkin, M.M. Makogon, V.N. Fedorishchev. **Investigation of Water Surface Pollutions by Oil Spills in the Basin of Upper Reaches of Volga River.**

In this paper we present the results of field tests of a remote spectrofluorimeter intended for detection and analysis of oil spills on water surface that have been obtained during the summer of 1993 in an expedition to the upper reaches of Volga river on board of ship <И'ya Repin>. The construction of the device and its functioning algorithm are described. In making field measurements we took into account large extension of the measurement path. Signals recorded in the channels of the fluorescence intensity and decay time measurements are presented in the paper for two cases of oil spills detected. A fragment of the data summary for a 200 km path near Yaroslavl' city is discussed. It is shown in the paper that waters investigated in this expedition have high background level of fluorescence what makes it necessary to essentially improve the fluorimeter construction.