

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А.И.Чепыженко

Морской гидрофизический институт

НАН Украины

г. Севастополь, ул.Капитанская, 2

E-mail: shelf@alpha.mhi.iuf.net

Антропогенное воздействие на акваторию Мирового океана в процессе использования его ресурсов способствовало его загрязнению и уменьшению природной способности водной экосистемы к саморегулированию и воспроизводству. Разработка и применение оптических методов и средств экологического мониторинга направлены на определение оптимальных условий существования экосистемы и отрицательного воздействия загрязняющих веществ на морские организмы и их сообщества. При этом актуальной задачей является определение концентраций загрязняющих веществ, оказывающих доминирующее влияние на экосистему. Следует выделить:

1. Методы и средства, обеспечивающие определение характеристик, влияющих на оптимальность условий существования экосистемы.

2. Методы и средства для обнаружения и определения концентрации природных и загрязняющих веществ оптическими методами.

- 1.1. Определение интегральных характеристик состояния водной среды занимает видное место в системе экологического мониторинга.

В качестве интегральной характеристики, оценивающей токсичность водной среды или атмосферы может рассматриваться относительный индекс токсичности [1,2]. Суть метода заключается в прокачке исследуемой воды или воздуха сквозь кювету с микроскопическими водорослями. Измерение оптической плотности или флюоресценции хлорофилла позволяет контролировать концентрацию хлорофилла и его динамику

изменчивости, как реакцию на внешнее воздействие.

Одним из обобщающих критериев оценки экологического состояния водоема также можно рассматривать уровень первичной биологической продуктивности (количество усвоенного углерода за единицу времени в единице объема). Влияние оптического излучения на биологические процессы в водной среде трудно недооценить. Количество и спектральный состав световой энергии на различных глубинах определяет интенсивность фотосинтеза – важнейшего биохимического процесса. Первичная продуктивность напрямую зависит от объемного поглощения света хлорофиллом планктона, рассчитанное в квантах на куб.м. за секунду. При рассмотрении условий существования биоценоза водной среды необходимо знать уровень фотосинтетически активной радиации (ФАР), достигшей определенного горизонта. Проникновение света в водную среду создает в верхнем слое освещенную (фотическую) зону, нижней границей которой принимается 0.1 освещенность от поверхностной, т.е. зону, в которой возможен фотосинтез.

В процессе фотосинтеза из всего солнечного излучения используется только его часть, названная фотосинтетически активной радиацией (ФАР) – солнечное излучение, заключенное в спектральном интервале от 380 до 700 нм.

Измерение интегральной солнечной радиации и последующий расчет доли ФАР приводит к значительной погрешности [3]. Измерение подводной освещенности в зоне ФАР в квантах $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ наиболее полно выражают физический процесс, происходящий в биологической системе при фотосинтезе. Рабочая группа N15 SCOR (Научный комитет по исследованию океана) рекомендует при исследовании фотосинтеза световые измерения производить в числе квантов. Ни тепловые ($\text{кал} \cdot \text{см}^{-2}$), ни световые (люкс) не выражают физического процесса происходящего в биологической системе при фотосинтезе.

2.1. Регистрация растворенного органического вещества, биологических загрязнений, нефтепродуктов основана на использовании явлений спектрального поглощения, ослабления и флуоресценции содержащихся в воде компонентов. С этой целью применяется контактная аппаратура, которая предназначена для использования в лабораторных или натуральных условиях.

Вид спектра поглощения водой зависит от количественного и качественного состава, содержащегося в воде вещества. Главными компонентами, обуславливающими поглощение водой, являются: чистая вода, растворенные органические вещества, пигменты фитопланктона, неселективная взвесь, загрязняющие вещества. Последний компонент в прибрежной зоне и акваториях бухт зачастую является доминирующим. Соотношение между составляющими компонентами и определяют форму спектра поглощения света водой. Изменение спектров поглощения воды с глубиной и по площади связано с трансформацией, происходящей с веществом, содержащимся в воде – в поверхностном слое существенную роль в поглощении играют пигменты живого фитопланктона, с глубиной происходит постепенное разложение и растворение органической взвеси.

Спектральное поглощение чистой воды и растворенного органического вещества хорошо изучены [4,5]. Оптические характеристики взвеси определяются количеством, размерами, материалом и формой частиц. Взвесь представляет собой минеральные и органические частицы. Минеральные частицы, как правило, являются мелкими фракциями с радиусом менее 1 мкм. Органические частицы крупнее, с радиусом более 1 мкм. Определение количества и гранулометрического состава взвешенного вещества является актуальной задачей, имеющей прикладное значение. Изучение распределения взвеси около дна позволяет получить данные о придонных суспензионных

потоках для борьбы с заносимостью портов, бухт и каналов. Расчет гранулометрического состава взвеси основан на измерении индикатрисы рассеяния. Данный метод является наиболее чувствительным. Имеющиеся методики позволяют рассчитать концентрацию взвеси с дифференциацией на крупную и мелкую по измерению индикатрисы рассеяния на 2 – 3 углах – 1-2, 5-6 и 35-45 градусов [6,7].

Спектральная характеристика взвеси малоселективна. Расчет концентрации взвеси с учетом их размерного состава по результатам измерения их спектральных характеристик затруднено зависимостью их спектральной характеристики от природы их происхождения.

2.2. Нефтяные углеводороды относятся к числу наиболее распространенных загрязняющих водную среду веществ. В водной среде нефтеуглеводороды находятся в разных формах: поверхностные пленки (мономолекулярные пленки, пленки нефтеуглеродов толщиной до нескольких сантиметров), пленки на прибрежных скалах и побережье, отложения нефтеуглеводородов в донных осадках, эмульсии “нефть в воде”.

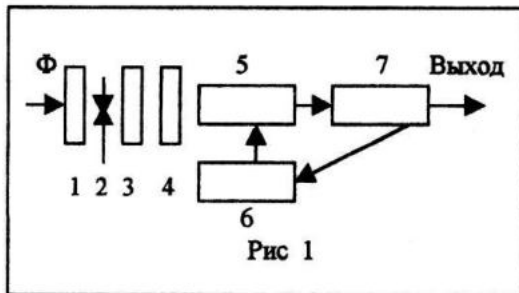
При попадании нефтеуглеводородов в водную среду образуется поверхностная пленка. В первые часы существования пленки доминируют физико – химические процессы: испарение, эмульгирование, растворение, окисление и образование нефтяных агрегатов.

Обнаружение и классификация нефтепродуктов в прибрежных водах, акваториях бухт и водоемах является актуальной задачей. Даже небольшие концентрации нефтепродуктов представляют значительную опасность для жизнедеятельности биологических организмов. Они приводят к нарушению функций дыхания, уменьшению роста, возникновению уродливых форм и т.д. Образующаяся на поверхности пленка нефтеуглеводородов нарушает теплообмен между средами водная среда – атмосфера

ра, приводит к образованию поверхностного термоклина и в конечном итоге приводит к тяжелым экологическим последствиям.

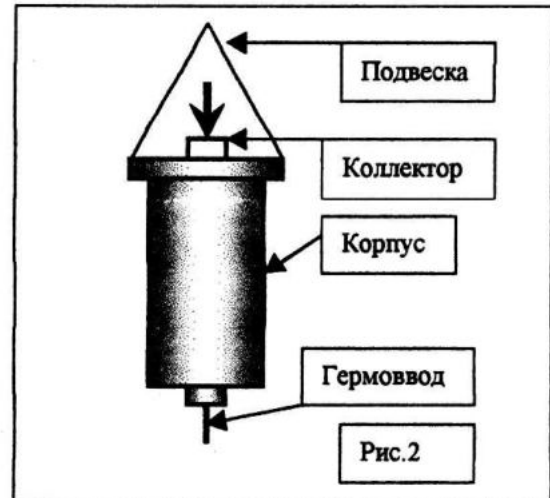
По ряду причин в последние 10 лет изучение Мирового океана свелось, как оказалось, к наименее изученным районам - прибрежной зоне и акваториям бухт. Особенности района - малые глубины, аномально высокие концентрации веществ, связанных с антропогенной нагрузкой, привело к необходимости разработки и изготовлению компактных приборов, обеспечивающих проведение исследования с борта маломерного судна или пирса.

Для измерения квантовой освещенности при исследовании процесса фотосинтеза в отделе гидрофизики шельфа МГИ НАНУ разработан и изготовлен квантометр КВАНТ, структурная схема которого представлена на рис 1.



Световой поток Φ , проходя молочный коллектор 1 поступает на нормализующее спектральное устройство, содержащее ножевые диафрагмы 2, сегментный корректирующий светофильтр 3 и нормирующий светофильтр 4 поступает на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) 5. Выходной электрический сигнал ФЭУ, пропорциональный входному световому потоку поступает на вход устройства измерения 7, выходной сигнал которого управляет высоковольтным преобразователем 6, вызывая изменение анодной чувствительности ФЭУ и, как следствие - компенсацию выходного сигнала ФЭУ.

Конструктивно квантометр выполнен в виде цилиндрического прочного корпуса (рис.2) с размещенным на одном из торцов молочного светового коллектора.



Выходной сигнал через гермоввод поступает на бортовой прибор для его регистрации. Подвеска прибора обеспечивает его вертикальное положение при погружении. Ориентация квантометра (вверх или вниз коллектором) обеспечивает измерение нисходящей или восходящей квантовой освещенности. Применение сегментного светофильтра позволяет упростить конструкцию прибора.

Спектральная характеристика сквозного канала, включая все спектрально-селективные элементы (коллектор, светофильтры, ФЭУ) нормализована и максимально приведена к идеальной спектральной характеристике приемника $S(\lambda) = \text{const} \cdot \lambda$ и показания приемника, связанные с числом квантов, определяются

$$Q = \text{const} \cdot hc \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} N(\lambda) \cdot d\lambda.$$

где h : постоянная Планка

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{сек},$$

скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/сек,

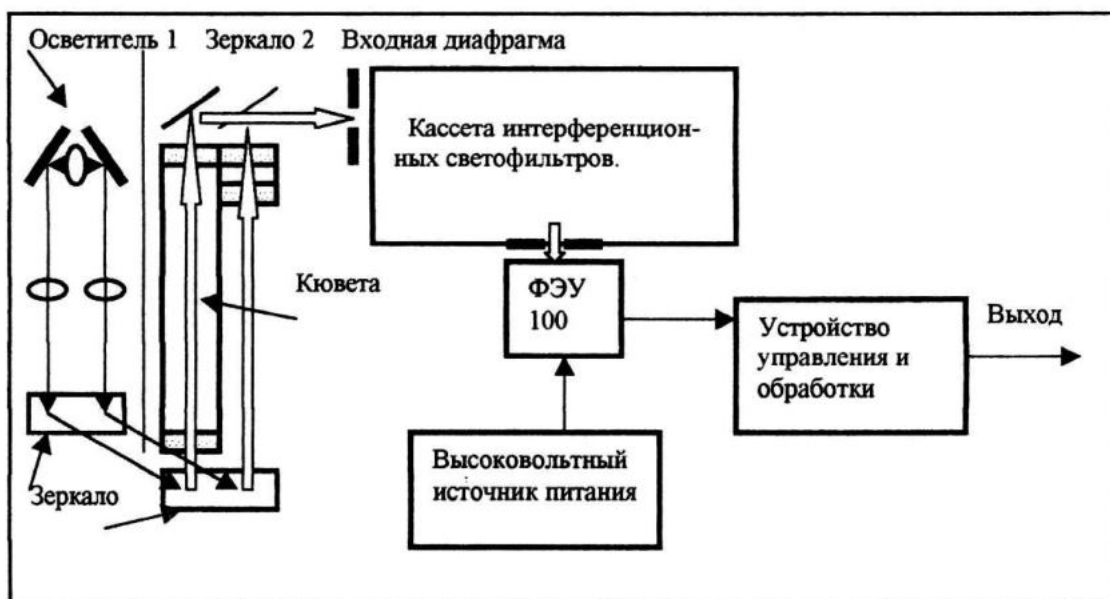


Рис.3 Лабораторный спектральный измеритель прозрачности

Лабораторный спектральный измеритель прозрачности (рис.3) состоит из оптико-механического блока, двухбазовой кюветы, кассеты интерференционных светофильтров, фотоприемного блока ФЭУ-100, синхронизирующие сигналы управления обтюратором высоковольтного источника питания и устройства управления и обработки информационного сигнала. Световой поток от галогеновой лампы расщепляется на два параллельных световых потока системой плоских зеркал и, через диафрагмы и механический обтюратор поступают на коллимирующие объективы. Два сформированных коллимированных световых потока, пройдя систему из двух плоских зеркал, поступают на двухбазовую кювету и, пройдя через нее системой из двух зеркал собирается на диафрагме, за которой установлена кассета интерференционных светофильтров. Кассета из 16 интерференционных светофильтров обеспечивает последовательное разложение световой энергии в спектральном диапазоне от 413 до 700 нм. Регистрация выходного светового потока осуществляется фотоприемни-

ком фэу-100, выходной электрический сигнал которого устройством обработки сигнала преобразуется в сигналы, регистрируемые измерительным прибором.

При заливке исследуемой воды в двухбазовую кювету и помещении ее в измерительную базу измерителя происходит спектральное ослабление двух световых потоков. Результирующий выходной электрический сигнал пропорционален спектральной прозрачности исследуемой воды. Применение двухбазовой кюветы и разработанной методики позволяет непосредственно измерять спектральную прозрачность. При этом не требуется внесения никаких эмпирических коэффициентов, учитывающих показатель преломления исследуемой воды и просветление иллюминаторов при погружении прибора в воду.

Для проведения измерений толщины пленки нефтеуглеводородов на водной поверхности разработан автономный измеритель толщины нефтяной пленки.

Автономный измеритель нефтяной пленки предназначен для проведения

измерения пленки нефтеуглеводородов на водной поверхности акватории портов, бухт, внутренних и внешних водоемов с пирса или борта маломерного судна. Питание прибора осуществляется от автономного источника питания. Регистрация измерений с пульта производится оператором в относительных единицах (с последующим расчетом в абсолютных единицах) визуально.

При использовании измерителя толщины нефтяной пленки в составе змерительного комплекса, измеряемый сигнал поступает на блок сопряжения, для последующей обработки и регистрации сигналов.

Измеритель толщины нефтяной пленки (рис.4) состоит из прочного корпуса 1, базовой фермы 2 со сферическим зеркалом 3, водоотборника 4 и отсекавателя 5. Водоотборник и отсекаватель выполнены в виде двух коаксиально расположенных сосудов. Отсекатель выполнен в виде подвижной конструкции, которая находясь в двух своих крайних положениях обеспечивают отбор пробы в нужном участке акватории с последующей ее фиксацией. Применение отсекавателя обеспечивает снижение погрешности измерения за счет уменьшения влияния внешних факторов (волнения водной поверхности, неравномерности толщины пленки как результат ветрового воздействия).

Принцип работы прибора основан на спектральном ослаблении светового потока при прохождении границы раздела водной среды и нефтеуглеводородной поверхностной пленки.

Применение конфокальной оптической системы позволило повысить чувствительность прибора.

Толщина нефтяной пленки зависит от показателя поглощения нефтеуглеводородов составляющих поверхностную пленку в исследуемом спектральном диапазоне, и может быть рассчитана по методике Н.Б.Лауса, Т.Ю.Шевелева [8]

Для определения гранулометрического состава и спектрального погло-

щения в отделе гидрофизики шельфа МГИ НАН Украины разработан и изготавливаются портативный погружной прозрачномер-нефилометр и спектральный измеритель коэффициента поглощения на основе ранее разработанного монохроматора.

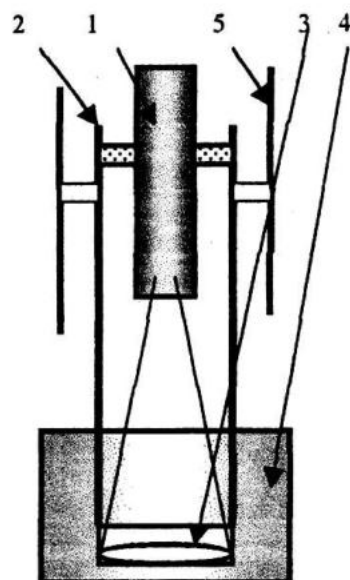


Рис.4 Измеритель толщины нефтяной пленки.

ВЫВОДЫ.

Оптические методы и средства измерения могут быть исключительно эффективно применены в системе экологического мониторинга. Они позволяют оперативно получать качественную, а по многим характеристикам, и количественную картину распределения природных и загрязняющих веществ, качества питьевой воды. Применение портативных приборов, кюветных и проточных спектральных измерителей позволяет проводить измерения с маломерных судов, катеров, причалов и пирсов. Данные системы могут быть адаптированы и входить в автоматизированные системы сбора экологической информации и управления процессом очистки воды, с учетом содержания в ней органических, взвешенных и загрязняющих веществ.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Кабиров Р.Р., Суханова Н.В., Хайвуллина Л.С. Оценка токсичности атмосферного воздуха с помощью микроскопических водорослей. "Экология", 2000, N3, с.231-232.
2. Сороколетова Е.Ф., Андреев В.П., Майдан В.А., Туржова Е.Б., Нарыков В.И., Петреев И.В., Алексеев М.А. Опыт использования биотеста с зелеными микроводорослями для определения качества вод. "Водные ресурсы", 2000, т.27, 3, с. 371-376.
3. Чепыженко А.И. Измерение спектральной подводной освещенности с помощью квантометра. Сб. Системы контроля окружающей среды., Севастополь, МГИ, 1999г., с.118.
4. Оптика океана, т.1, М., Наука, 1983г., 357 с.
5. Иванов А.П. Физические основы гидрооптики., Минск, Наука и техника., 1975г., 503с.
6. Афонин Е.И., Башаринов В.А. Вертикальная стратификация угловых показателей рассеяния света водами тропической Атлантики., Оптика океана и атмосферы., Изд. ЭЛМ, Баку, 1983г., стр.231-235.
7. Копелевич О.В., Маштаков Ю.Л., Буренков В.И. Исследование вертикальной стратификации рассеивающих свойств морской воды с помощью погружаемого малоуглового измерителя рассеяния. "Гидрофизические и гидрооптические исследования в Индийском океане", М., Наука., 1975., с.54-58.
8. Лаус Н.Б., Шевелева Т.Г. Автономный измеритель толщины нефтян пленки. , сб. Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Таллин, Бит, 1980, с.287-290.