

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Допущена к защите
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор
Царёв В.А. Царёв
06.2016

Кафедра Океанологии

**ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)
Лабораторные исследования оптических
характеристик воды**

Выполнил(а)	С.В. Третьякова, гр. О-55
Руководитель	доцент к. ф-м. н., С.В. Лукьянов

Санкт-Петербург 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

Допущена к защите
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор

Кафедра океанологии

_____ В.А. Царёв

_____.06.2016

**ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)
Лабораторные исследования оптических
характеристик воды**

Выполнил(а) С.В. Третьякова,
гр. О–55

Руководитель к.ф.-м.н., доцент
С.В. Лукьянов

Санкт-Петербург 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1 Основные оптические характеристики	5
2 Анализатор жидкости «Флюорат-02-Панорама»	11
2.1 Структурная схема анализатора	11
2.2 Подготовка анализатора к работе	13
3 Описание лабораторной установки	17
3.1 Порядок проведения измерений в программной среде прибора «Флюорат-02-Панорама»	20
3.2 Результаты измерений и их обработка	27
4 Анализ полученных результатов	44
Заключение	48
Список использованных источников	49

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

Инструментальные измерения оптических характеристик в море сопряжены с большим количеством технических сложностей. Поэтому логично использовать традиционные методы лабораторных экспериментов.

Лабораторные исследования позволяют с высокой степенью точности получать количественные результаты. В частности, данные по оптическим характеристикам очень важны для привязки результатов дистанционных измерений к реальным значениям в воде.

Современная материально-техническая база лаборатории кафедры Океанологии в отношении измерения оптических характеристик оставляет желать лучшего. В частности, удалось приобрести эксклюзивный прибор «Флюорат-02-Панорама» вместе с программным обеспечением. Он имеет измеритель освещённости с высоким спектральным разрешением. При этом источник света представляет собой обычную лампу накаливания, свет от которой передаётся в измерительную кювету через гибкий световод. Но эти технические новшества все же не позволяют с достаточной степенью достоверности утверждать, что мы получаем именно характеристики воды. Поиску очевидных и скрытых несоответствий и посвящена настоящая работа. В конечном итоге ожидается изменение методики измерений и обработки их результатов, т.е. материалы для нового методического руководства.

Цель работы

Отработка методики измерений оптических характеристик воды в спектральном диапазоне видимого света. Исследование должно проводиться на анализаторе жидкости «Флюорат-02-Панорама» разработанного фирмой Люмекс. А именно, определение показателя ослабления для различных

спектральных интервалов светового потока с помощью анализатора жидкости «Флюорат-02-Панорама».

Задачи работы

Оценить расчет показателя ослабления по разным формулам на основе измерений коэффициента пропускания поглощения и рассеяния, и сравнить результаты с другими авторами.

1 Основные оптические характеристики

Оптические свойства воды определяются общими законами – ослабления, поглощения и рассеяния света.

Показатель ослабления – величина обратная коэффициенту пропускания, который равен отношению прошедшего потока излучения к падающему световому потоку.

Показатель рассеяния определяется отношением рассеянного потока излучения к падающему потоку света. Вид индикатрисы рассеяния зависит от соотношения длины волны падающего излучения и размера рассеивающего элемента (рассеяние Тиндаля, Ми, Релея).

Показатель поглощения обусловлен ослаблением светового потока при прохождении через вещество вследствие трансформации части световой энергии в другие виды (чаще всего в тепло)

Оптические свойства морской воды зависят от ионного состава, наличия примесей и растворенной органики, которые изменяются во времени и пространстве, влияя на ее прозрачность.

На практике надежным показателем оптических свойств воды является ее прозрачность и цвет.

Прозрачность воды подвержена сезонным колебаниям, связанным с наличием в воде микроорганизмов.

Так, например, в холодное время года (ранней весной и поздней осенью), когда активная жизнь планктона понижена, прозрачность воды улучшается. Во время паводков прозрачность воды снижается не только в реках, размывающих грунт и несущих много ила, но и в местах впадения рек в моря и озера, куда этот ил приносится.

Океанская вода, характеризующаяся наибольшей прозрачностью, имеет голубой цвет, менее прозрачная прибрежная вода окрашена в голубовато-

зеленоватый цвет, а мутная речная вода принимает различные оттенки - от жёлтоватого до коричневатого. Дальность горизонтальной видимости под водой зависит от прозрачности воды и глубины (толщины слоя или длины оптического пути светового потока), на которой ведется измерение.

Поглощение и рассеяние света отражают важнейшую характеристику воды – прозрачность, однако, следует напомнить, что и дистиллированная вода, которую используют как эталон, имеет показатель рассеяния.

Для описания оптических свойств, следует ввести понятие элементарного объёма [1]. Прежде всего характерный размер элементарного объёма должен быть много меньше средней длины пробега фотонов, так что в его пределах интенсивность излучения практически постоянна. Количество энергии, рассеиваемой объёмом в единицу времени по всем направлениям запишем формулой

$$dW_{\sigma} = \sigma L d\Omega dV, \quad (1.1)$$

где dW_{σ} – энергия рассеянная объёмом, м⁻¹ ;
 σ – показатель рассеяния, м⁻¹;
 L – яркость излучения, Вт · м⁻² · ср⁻¹;
 $d\Omega$ – элемент телесного угла;
 dV – элементарный объём.

Относительное угловое распределение рассеянного света описывается индикатрисой рассеяния. Энергия dW_{γ} , рассеянная элементарным объёмом dV в единицу времени в элемент телесного угла $d\Omega'$, есть по определению

$$dW_{\gamma} = x(\Omega, \Omega')(d\Omega'/4\pi)dW_{\sigma}, \quad (1.2)$$

где $x(\Omega, \Omega')$ – индикатриса рассеяния.

Для изотропной среды индикатриса рассеяния зависит от угла γ между направлениями Ω и Ω' .

Из формулы (1.2) следует, что индикатриса рассеяния нормирована условием

$$\int_{4\pi} x(\Omega, \Omega') \frac{d\Omega'}{4\pi} = 1 \quad (1.3)$$

Индикатриса рассеяния представляет собой плотность вероятности того, что фотон, имевший направление движения Ω , в результате взаимодействия с веществом изменит направление движения на Ω' . В этой интерпретации выражение (1.3) есть по существу обычное условие нормировки плотности вероятности.

В гидрооптических исследованиях часто используется также показатель рассеяния в данном направлении $\sigma(\gamma)$. По определению:

$$\sigma(\gamma) = \frac{\sigma x(\gamma)}{4\pi} \quad (1.4)$$

где γ – угол между направлениями падающего и рассеянного пучка света (предполагается, что среда изотропна).

Из (1.3) и (1.4) следует, что:

$$\sigma = 2\pi \int_0^\pi \sigma(\gamma) \sin \gamma d\gamma \quad (1.5)$$

Яркость рассеянного света $L'(\Omega')$ в направлении Ω' на расстоянии R от рассеивающего объёма dV выражается через $\sigma(\gamma)$ следующей формулой:

$$L'(\Omega') d\Omega' = \frac{\sigma(\gamma)}{R^2} L(\Omega) dV, \quad (1.6)$$

где $d\Omega'$ - телесный угол, под которым виден рассеивающий объём из точки наблюдения;

$L(\Omega)$ – яркость света, падающего на dV в элементе телесного угла $d\Omega$.

Для интегральной характеристики индикатрисы рассеяния употребляются две величины – показатель рассеяния вперёд δ и показатель рассеяния назад β , которые определяются выражениями:

$$\delta = 2\pi \int_0^{\pi/2} \sigma(\gamma) \sin\gamma d\gamma \quad (1.7)$$

$$\beta = 2\pi \int_{\pi/2}^{\pi} \sigma(\gamma) \sin\gamma d\gamma \quad (1.8)$$

$$\sigma = \delta + \beta \quad (1.9)$$

Аналогично показателю рассеяния можно определить показатель поглощения α :

$$dW_\alpha = \alpha L d\Omega dV, \quad (1.10)$$

где dW_α – количество энергии, поглощаемой в единицу времени элементарным объёмом dV .

Рассмотрим световой пучок, распространяющийся в направлении Ω . Ослабление интенсивность пучка при прохождении расстояния dl вдоль Ω происходит за счёт поглощения и рассеяния света. Если ds –элементарная

площадка, перпендикулярная Ω , то энергия, протекающая через ds , уменьшится на величину:

$$dW = (\alpha + \sigma) dl d\Omega \quad (1.11)$$

С другой стороны, изменение энергии пучка в результате уменьшения его яркости равно:

$$dW = -L ds d\Omega. \quad (1.12)$$

Приравнивая (1.11) и (1.12), получаем закон Бугера в дифференциальной форме

$$dL = (\alpha + \sigma) L dl. \quad (1.13)$$

Сумма показателей рассеяния и поглощения называется показателем ослабления:

$$\varepsilon = \alpha + \sigma \quad (1.14)$$

Показатель ослабления характеризует ослабление яркости светового пучка при прохождении им единицы длины. Безразмерная величина τ , определяемая дифференциальным соотношением:

$$d\tau = \varepsilon dl \quad (1.15)$$

l — называется оптической толщиной.

Проинтегрировав (1.15) вдоль направления Ω для слоя толщи l , получим:

$$L(l) = L(0) \exp \left[- \int_0^l \varepsilon(l') dl' \right] = L(0) e^{-\tau(l)}, \quad (1.16)$$

где $L(0)$ – интенсивность входящего пучка, l – толщина слоя вещества, через который проходит свет, $\tau(l)$ – показатель поглощения.

Выражение (1.16) представляет собой закон Бугера – Ламбера– Бера – физический закон определяющий ослабление параллельного монохроматического пучка света при распространении его в поглощающей среде [2].

Важной характеристикой однократного рассеяния, непосредственно входящий в уравнение переноса излучения, является вероятность выживания фотона:

$$\Lambda = \sigma/\varepsilon \quad (1.17)$$

Показатель поглощения характеризует свойства вещества и зависит от длины волны поглощаемого света. Эта зависимость называется спектром поглощения вещества.

Задачей настоящего исследования не может быть определение каких-либо характеристик индикатрисы рассеяния в силу конструктивных особенностей измерительного прибора. В том числе недоступно определение характеристик двух потокового приближения (рассеяние вперёд и назад).

Поэтому мы вынуждены ограничиваться на основе измерений интенсивности светового потока по разным длинам волн на разных расстояниях от источника расчетом показателя ослабления. Далее с помощью известных теоретических зависимостей оценивается спектральное распределение показателей поглощения и рассеяния.

2 Анализатор жидкости «Флюорат-02-Панорама»

2.1 Структурная схема анализатора

В настоящей работе для проведения измерений использовался анализатор жидкости «Флюорат-02-Панорама», предназначенный для исследования спектров возбуждения и регистрации люминесценции, и изучения фотометрических характеристик и характеристик фосфоресценции анализируемых объектов [3].

Принцип действия анализатора основан на измерении интенсивностей световых потоков от исследуемого объекта, возникающих под воздействием возбуждающего оптического излучения выделенного спектрального диапазона и регистрируемых оптическими приёмниками прибора.

Устройство анализатора иллюстрируется структурной схемой, представленной на рисунке 2.1, где отображены функциональные связи его составных частей.

Анализатор состоит из низковольтного источника питания, оптической схемы с источником и приёмниками излучения, высоковольтного источника питания ФЭУ, систем сканирования монохроматоров, электронного измерительного блока, микропроцессорного контроллера и пульта управления с цифровым индикатором и клавиатурой.

Низковольтный источник питания преобразует переменное напряжение сети в постоянное стабилизированное напряжение (+5В, +15В, -15В), необходимое для питания приёмников излучения, электронных схем и цифрового индикатора.

Импульсный источник света вырабатывает световые импульсы микросекундной длительности с частотой, определяемой микропроцессорным контроллером (25Гц).



Рисунок 2.1 – Структурная схема анализатора «Флюорат-02-Панорама»

В анализатор «Флюорат-02-Панорама» входят:

а) приёмники излучения, которые служат для преобразования световых сигналов в электрические в соответствующих измерительных каналах;

б) высоковольтный источник питания повышает до 1 кВ напряжение, получаемое от стабилизированного низковольтного источника питания для питания ФЭУ. Уровень высокого напряжения, а следовательно

чувствительности ФЭУ, задаётся контроллером в соответствии с выбором значения параметра F1

в) электронный измерительный блок осуществляет усиление и оцифровку сигналов, поступающих от приёмников.

г) пульт управления служит для выбора режимов работы прибора, ввода значений параметров и вывода результатов измерений на цифровых индикаторах.

д) микропроцессорный контроллер осуществляет взаимодействие с оператором через пульт управления, запуск программ управления измерениями по командам с клавиатуры, хранение в оперативной памяти значений рабочих параметров, контролирует работу всех систем. Он также управляет напряжением высоковольтного источника питания, запуском импульсного источника света, обменом данными по каналу RS-232, выводит данные и сообщения об ошибках на цифровой индикатор. В энергонезависимой памяти контроллера (EEPROM) хранится информация о настройках высоковольтного источника питания и обоих монохроматоров.

е) канал связи RS-232 предназначен для сопряжения анализатора с внешним компьютером, снабженным Программным обеспечением для проведения автоматизированных спектрально-временных измерений на анализаторе. Электрический сигнал этого приёмника зависит только от интенсивности падающего света и поэтому может служить для коррекции нестабильности сигналов флуориметрического и фотометрического приёмников, которая обусловлена энергетической нестабильностью работы лампы от импульса к импульсу.

2.2 Подготовка анализатора к работе

Перед работой на анализаторе «Флюорат-02-Панорама», его необходимо подготовить, на рисунках с 2.2 по 2.5 представлены внешний вид и схемы спектрофлюоиметра и кюветного отделения соответственно.



Рисунок 2.2 – Внешний вид спектрофлюориметра «Флюорат-02-Панорама»

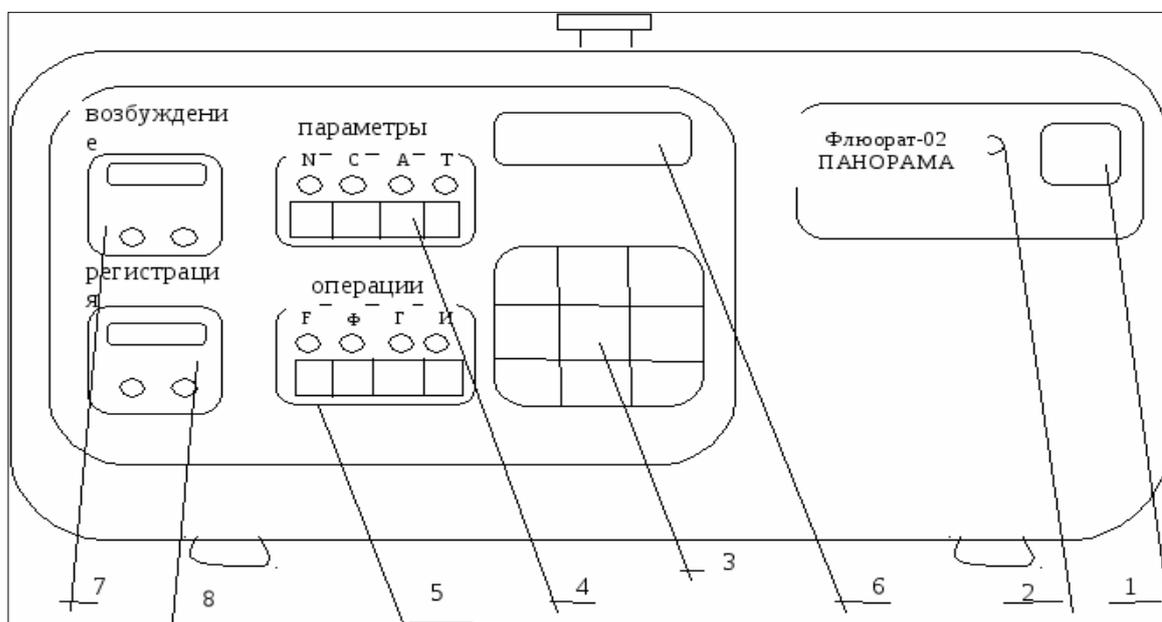


Рисунок 2.3 – Схема лицевой панели анализатора «Флюорат-02-Панорама»

Включение анализатора осуществляется сетевым выключателем (1), на рисунке 2.4, рядом с которым расположен светодиодный индикатор включения (2). На лицевой панели размещены цифровая клавиатура (3), клавиши установки параметров и выполнения операций (4, 5). Над цифровой клавиатурой расположено табло индикации результатов (6).

Еще две функциональные зоны относятся к пошаговому управлению и отображению текущих настроек монохроматоров возбуждения (7) и регистрации (8).

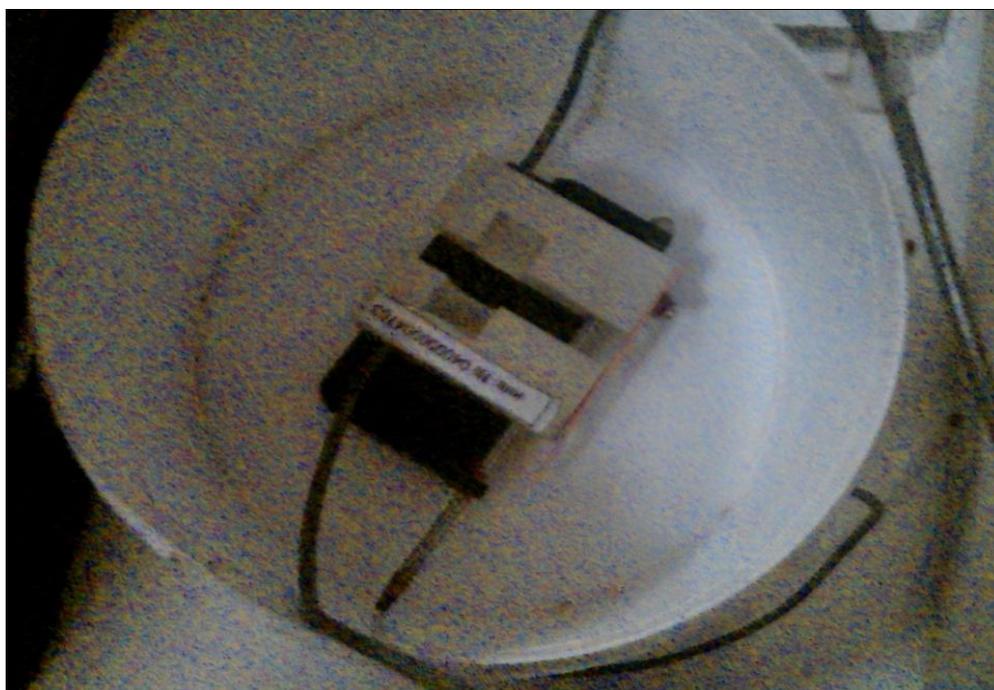


Рисунок 2.4 – Внешний вид кюветного отделения анализатора

Кюветы с растворами, проточные хроматографические кюветы, оптические разъемы и дополнительные светофильтры помещаются в кюветное отделение, изображенное на рисунке 2.5. Направление распространения света возбуждения и регистрации указано стрелками

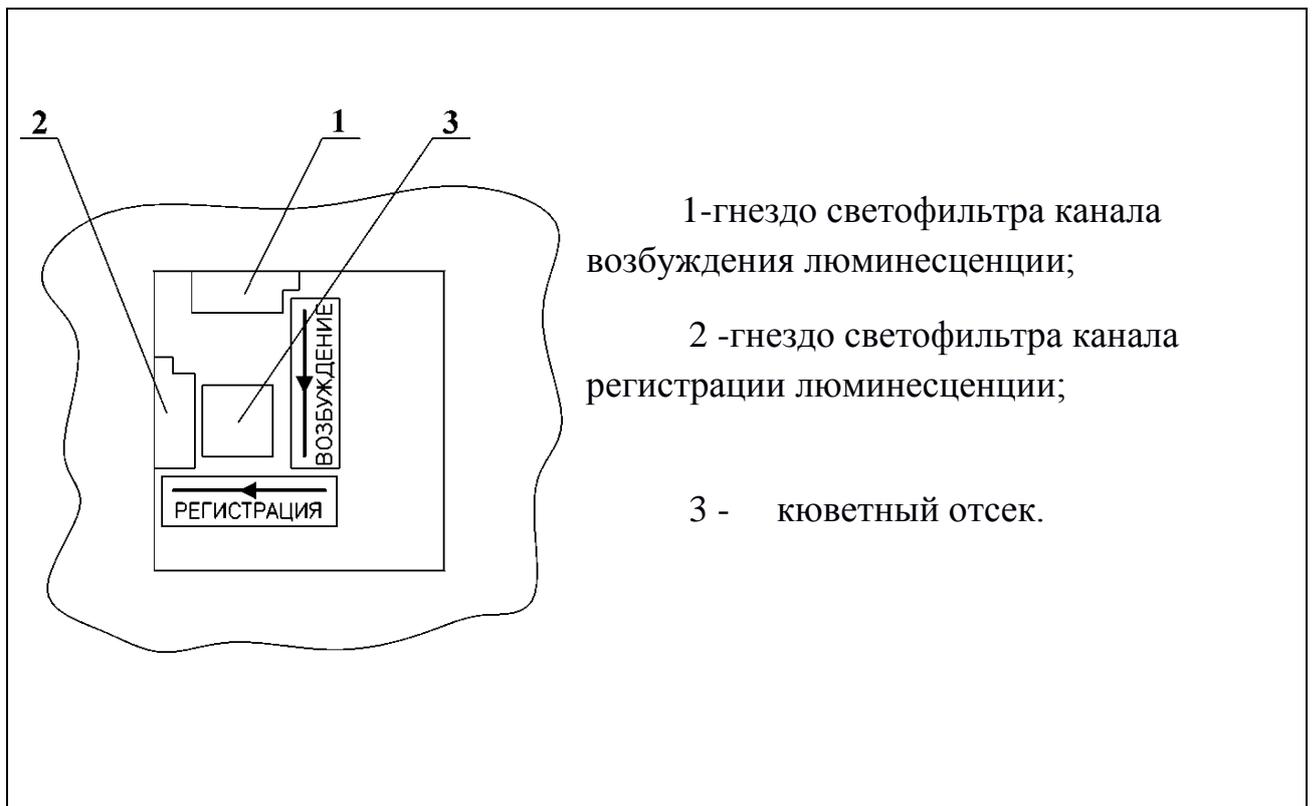


Рисунок 2.5 – Схема кюветного отделения анализатора

3 Описание лабораторной установки

Для определения показателя ослабления света в испытуемой пробе воды нужно провести измерения сигнала на выходе канала анализатора жидкости «Флюорат-02-Панорама» при прохождении параллельного пучка света через пробу воды при двух расстояниях l_1 и l_2 .

Оптическая схема прибора показывает прохождение световых потоков от источника света через монохроматоры к кювете с анализируемой пробой и далее на соответствующие фотоприёмники (рисунок 3.1).

Схема может быть условно разбита на четыре канала:

«I» – осветительный (возбуждения люминесценции),

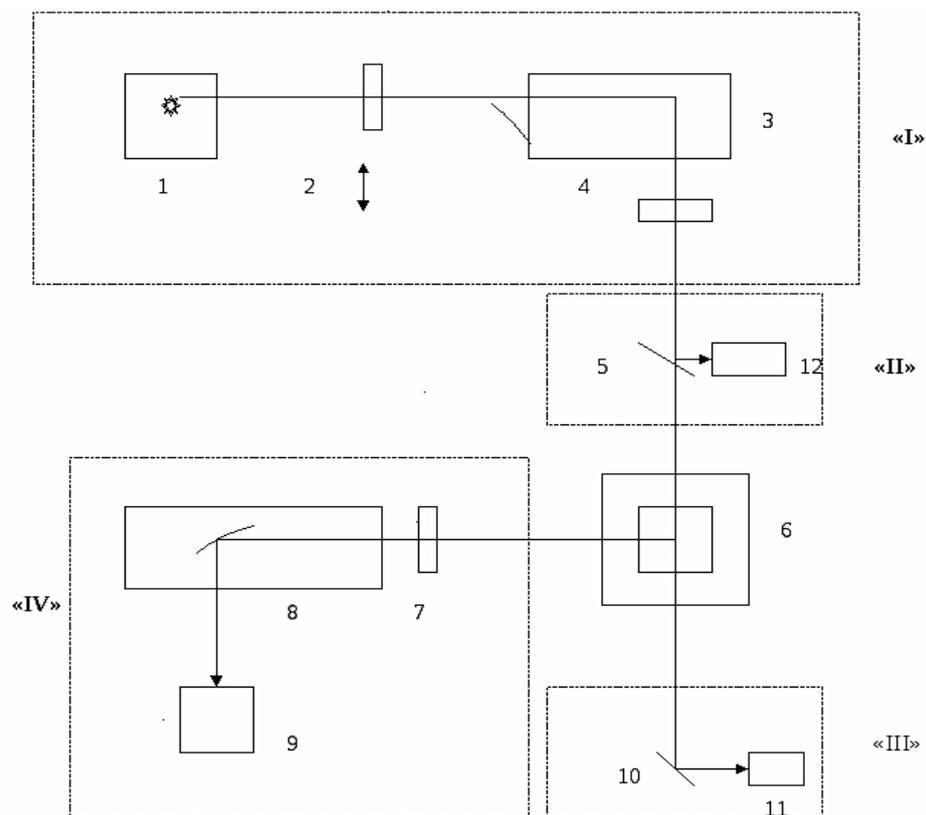
«II» – опорный,

«III» – канал пропускания (фотометрический) и

«IV» – флюориметрический (регистрации люминесценции).

Анализатор имеет два основных режима измерений: флюориметрический и фотометрический.

На рисунке 3.1 – источник излучения анализатора (1) ксеноновая лампа высокого давления, работает в режиме коротких (≈ 1 мкс) импульсов, с частотой повторения 25 Гц. Спектр испускания ксеноновой лампы – от жесткого ультрафиолетового (190 нм) до ближнего инфракрасного (2.5 мкм) излучения. Для выделения необходимого спектрального диапазона в анализаторе «Флюорат-02-Панорама» применяется монохроматор с вогнутой дифракционной решеткой, работающей в первом порядке дифракции.



1 - источник излучения; 2 - устройство отсечки второго порядка дифракции; 3 – монохроматор осветительного канала (возбуждения); 4 и 7 – светофильтры каналов возбуждения и регистрации люминесценции; 5 и 10 - светоделительные пластины; 6 - кювета с анализируемой пробой; 8 - монохроматор флюориметрического канала; 9 - фотоприёмник флюориметрического канала (ФЭУ); 11 - фотоприёмник канала пропускания (фотометрического); 12 - фотоприёмник опорного канала

Рисунок 3.1 – Оптическая схема «Флюорат-02-Панорама»

Для того, чтобы не допустить проникновения в кювету с анализируемой пробой излучения второго порядка дифракции (например, при настройке монохроматора на 500 нм в проходящем свете может присутствовать излучение с длиной волны 250 нм), монохроматор снабжен устройством, отсекающим второй порядок дифракции (2) и включающимся на длинах волн больше 400нм.

Во флюориметрическом режиме работы анализатора после монохроматора возбуждения (3) свет выделенного спектрального диапазона проходит через светоделительную пластинку (5) и попадает в кюветное отделение, где располагается кварцевая кювета с пробой (6). Излучение люминесцирующих компонентов пробы попадает во флюориметрический канал, где монохроматором регистрации (8) выделяется нужная спектральная область.

Отфильтрованный монохроматором регистрации световой поток регистрируется фотоприёмником (9) – фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Форма импульса ФЭУ зависит от свойств люминесцирующих компонент и может либо повторять форму возбуждающего импульса (флюоресценция), либо спадать с некоторой задержкой (фосфоресценция). Для проведения измерений с максимальным отношением сигнал/шум подбирается временной интервал (измерительный строб), и только в течение него происходит накопление информации об интенсивности сигнала с ФЭУ.

Измерительный строб характеризуется временем задержки (параметр F3) относительно переднего фронта синхроимпульса, запускающего работу лампы, и длительностью (параметр F5).

В фотометрическом режиме работы анализатора излучение, вышедшее из осветительного монохроматора (3), проходит через светоделительную пластину (5), кварцевую кювету с пробой (6) и, отражаясь от светоделительной пластины (10), попадает на приёмник излучения (11) фотометрического канала.

В обоих режимах после осветительного монохроматора (3) часть света отражается от светоделительной пластины (5) и попадает на приёмник излучения (12) опорного канала.

Электрический сигнал этого приёмника зависит только от интенсивности падающего света и поэтому может служить для коррекции нестабильности сигналов флюориметрического и фотометрического приёмников, которая обусловлена энергетической нестабильностью работы лампы от импульса к импульсу.

3.1 Порядок проведения измерений в программной среде прибора «Флюорат-02-Панорама»

Подготовка к измерениям

- а) наполнила чистую кювету заранее подготовленной пробой воды;
- б) при выключенном сетевом питании анализатора подсоединила кабель связи с компьютером к разъему на задней стенке прибора. Второй разъем кабеля подсоединила к свободному СОМ-порту на компьютере, включила сетевое питание;
- в) установила программное обеспечение для управления анализатором и запустила исполняемый EXE-файл (SPF.exe);

Проведение измерений

Если подсоединения к СОМ-порту выполнены верно, то на экране компьютера появится Главное меню программного обеспечения (ПО) и информация о названии ПО и номере СОМ-порта, по которому происходит обмен данными между анализатором и компьютером.

Главное меню ПО включает в себя главы «Установки», «Измерения», «Обработка», «Отчет», «Окна» и «Выход» (рисунок 3.2).

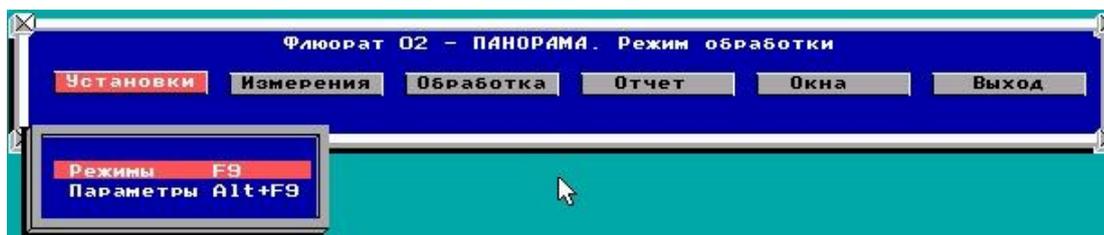


Рисунок 3.2 – Главное меню ПО

а) смена глав меню осуществлялась с помощью стрелок курсора. Вход в подменю каждой главы осуществлялся нажатием клавиши «Enter», выход в надменю, а также переключение между пунктами меню и активным окном - нажатием клавиши «Esc».

б) в главе «Установки» был установлен режим работы и параметры измерения (см. рисунки 3.3 и 3.4)

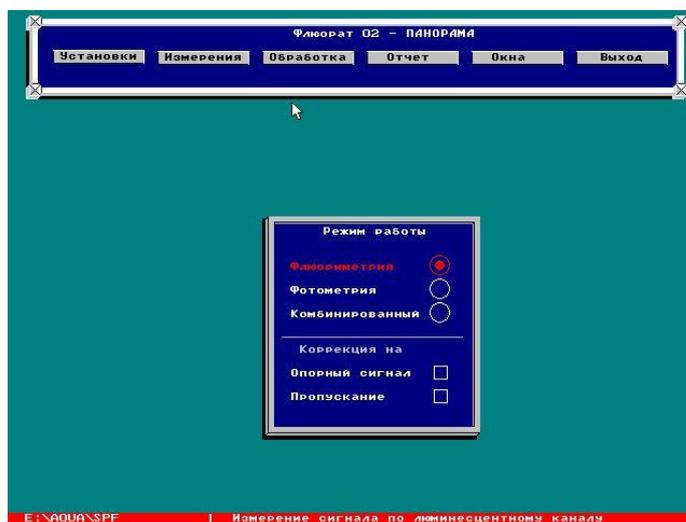


Рисунок 3.3 – Установка режима работы

Для выбора того или иного режима работы с помощью клавиш со стрелками на клавиатуре компьютера выбрала нужную строчку данного подменю и нажала клавишу «Enter». При этом в кружочке, стоящем в

выбранной строке, помещается точка, показывающая, что именно этот режим работы активизирован в анализаторе.

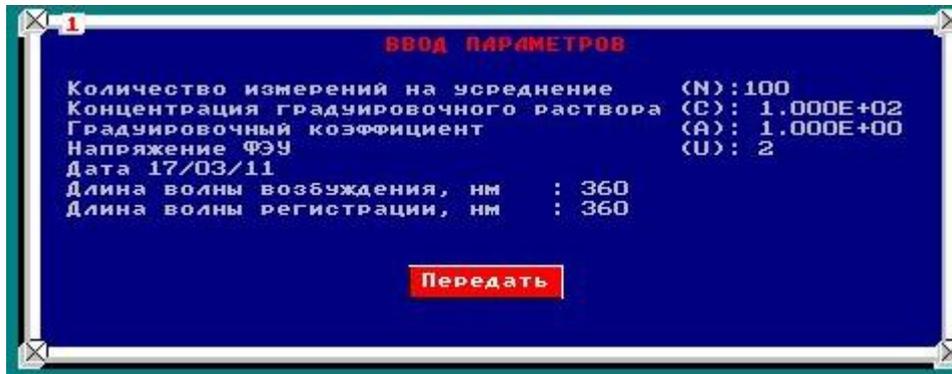


Рисунок 3.4 – Установка параметров измерения

в) поместили держатель волоконной оптики в дистиллированную воду и установили расстояние между губками держателя *II* в соответствии с методикой измерений.

г) перешли в окно «Измерение» (рисунки с 3.5 по 3.7)

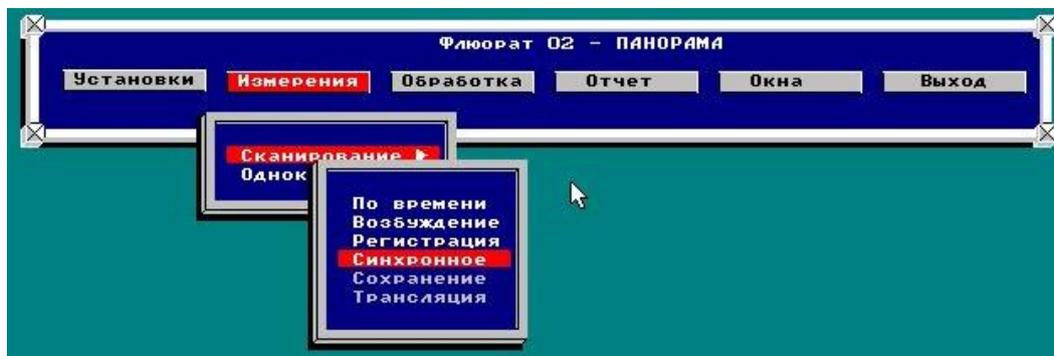


Рисунок 3.5 – Режим «Измерение»

Провести измерение по возбуждению в диапазоне от 350 до 690 нм с шагом 10 нм («Сканирование», «Синхронное») последовательным нажатием клавиши «Enter».

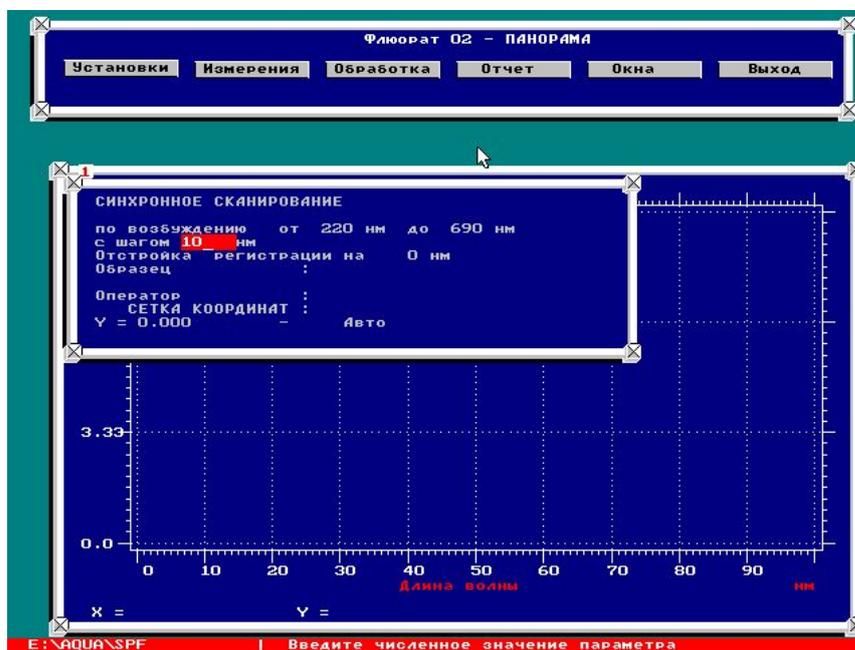


Рисунок 3.6 – Режим «синхронное сканирование»



Рисунок 3.7 – Результат синхронного сканирования

д) произвести перезапись графика из «Окна Измерений» в «Окно Обработки». Для этого активизировала строку «Трансляция» в списке подменю «Сканирование».нажатием клавиши «Enter» (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Режим «Трансляция»

е) выполнить п.п.4 и 5 для расстояния l_2 между губками держателя.

ж) перейти в окно «Обработка» главного меню, которая имеет набор вложенных подменю.

Выбрать во вложенном подменю строку «Операции» – деление нажатием клавиши «Enter» (рисунки 3.9 и 3.10).

и) сохранить файл результатов деления с параметрами l_1 и l_2 .

к) загрузить файл результатов деления с параметрами l_1 и l_2 из подменю «Кривые».

л) выполнить операции «Вывод» (рисунок 3.11) и «Печать ASCII» (рисунок 3.12) последовательным нажатием клавиши «Enter»

м) в каталоге SPF сохраненный файл будет иметь расширение .prn , вид xx.prn и открываться по клавише F3.



Рисунок 3.9 – Режим «Операции»

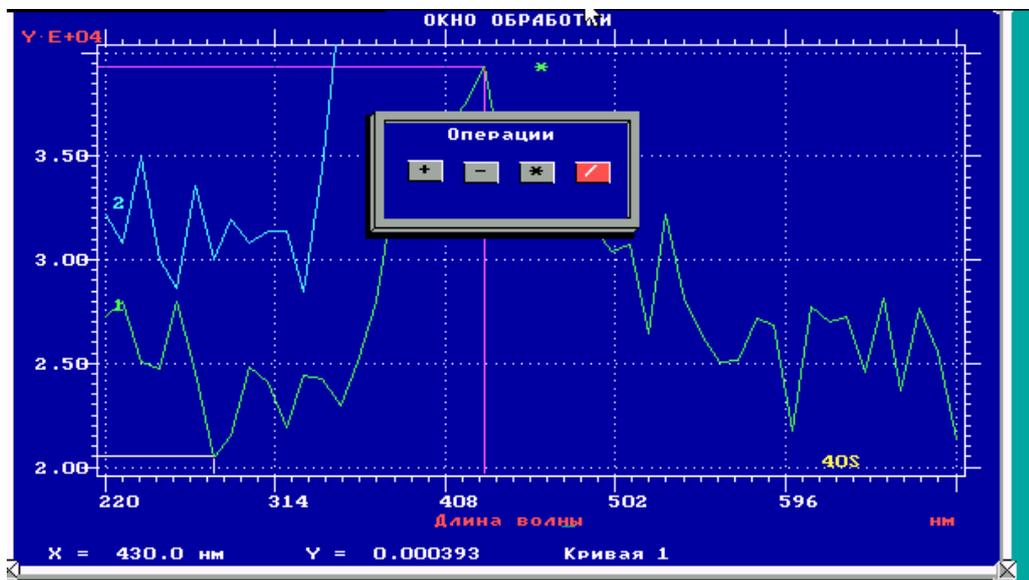


Рисунок – 3.10 Режим «Деление»

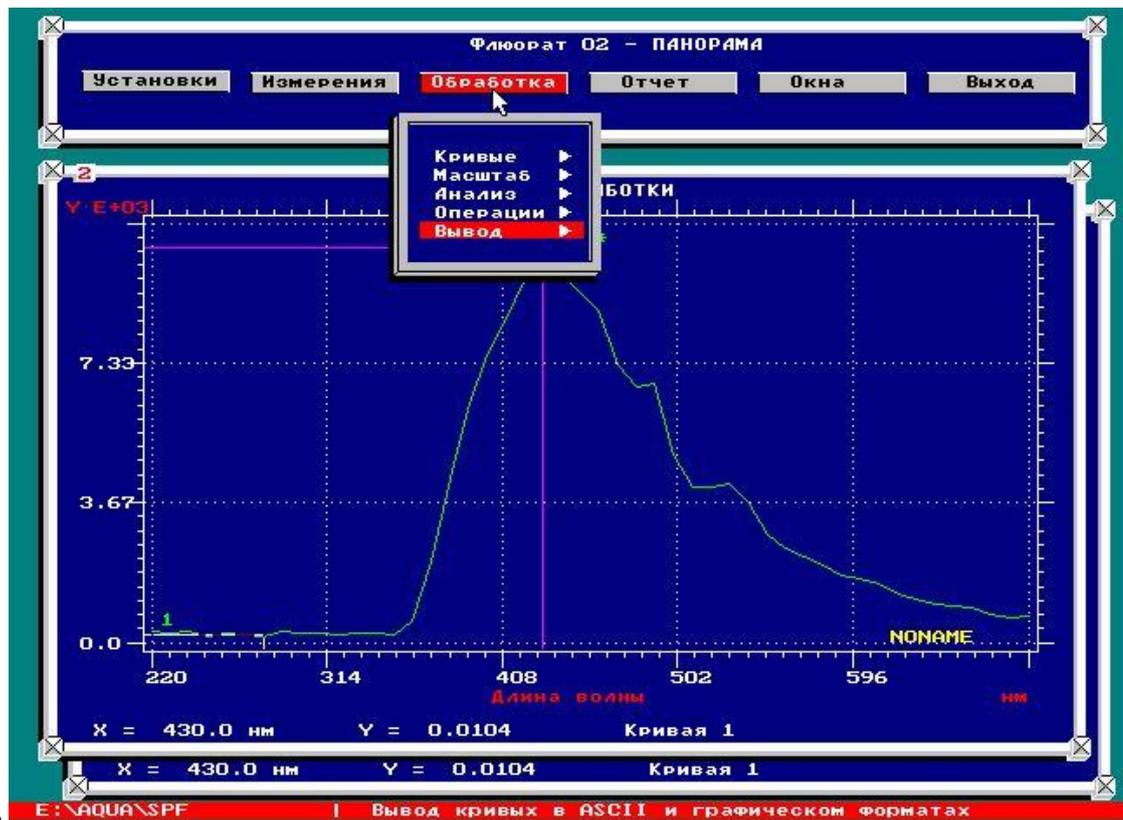


Рисунок 3.11 – Режим «Вывод»

Файлу может быть присвоено расширение XXX.txt и он может быть импортирован в Excel.

н) поместить держатель волоконной оптики в измеряемую пробу и установила расстояние между губками держателя в соответствии с методикой измерений.

п) выполнить п.п. с 1 по 10 для измеряемой пробы.

р) построить графики зависимости показателя ослабления света от длины световых волн возбуждения и регистрации.

с) сделать выводы об оптических свойствах испытуемой пробы воды (в сравнении с дистиллятом).

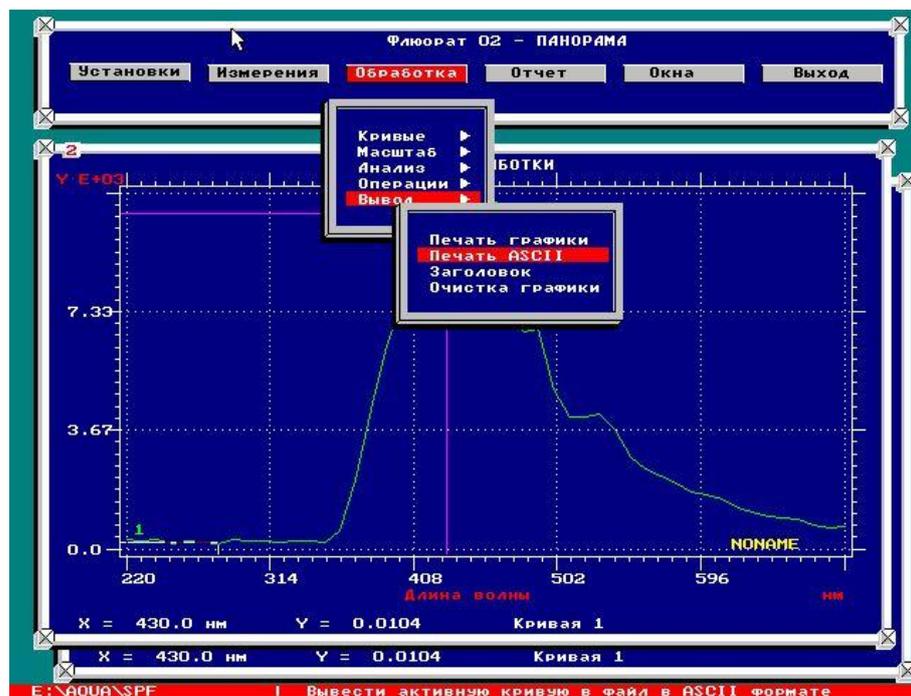


Рисунок 3.12 – Режим «Печать ASCII»

3.2 Результаты измерений и их обработка

После проведения измерений программное обеспечение позволяет проводить обработку графической информации. Режим «Обработка» позволяет осуществлять загрузку сохраненных кривых, их математическую обработку и сохранение результатов обработки в текстовом формате, что позволяет проводить дальнейшую совместную обработку полученных графиков в Excel.

Измерения проводились синхронно в диапазоне от 350 до 690 нм с шагом 10 нм .

Держатель волоконной оптики помещался в измеряемую пробу и устанавливался на расстоянии между губками держателя 1, 2, 3 и 4 см. На каждом расстоянии производилась запись измерений интенсивности светового потока в условных единицах.

$$\varepsilon_{\lambda} = - (\ln(I_2/I_1)) / (l_2 - l_1), \quad (3.1)$$

где ε_λ – показатель ослабления;

При рассмотрении поглощения света считается, что прямолинейный световой поток в малом участке спектра Φ_λ при прохождении в воде расстояния dl ослабляется за счет поглощения на величину λ , т.е.

$$d\Phi_\lambda / \Phi_\lambda = -\chi_\lambda dl. \quad (3.2)$$

Коэффициент χ_λ называется показателем поглощения. Его значение существенно меняется на разных участках спектра. В чистой воде, под которой понимается химически чистое вещество, малые значения показателя поглощения находятся в области спектра от 400 до 500 нм с минимумом около 460 нм, где показатель поглощения равен $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$. В сторону ультрафиолетовой части спектра χ_λ несколько увеличивается и довольно быстро растет с уменьшением длины волны. От участка минимума показатель поглощения света растет и в сторону длинных волн. Особенно быстро растёт начиная с длины волны примерно 560 нм. и к концу видимого спектра увеличивается до 2 м^{-1} .

Формула для расчетов

$$\dot{\varepsilon}_{пробы} = K_\lambda \ln(\Phi l_2 / \Phi l_1) \quad (3.3)$$

где коэффициент K_λ - показатель поглощения.

Измерения пропускания проводились при положении губок 1, 2, 3 и 4 см, т.е. спектры пропускания получены на расстояниях 1 – 2, 1 – 3 и 1 – 4 см., т.е. в интервале 1, 2 и 3 см.

Анализировались три вида измерений – дистиллированная вода и проба 1 и 2. Дистиллированная вода является эталоном стандарта для всех видов оптических измерений. Проба 2 представляла собой обыкновенную водопроводную воду, проба 1 была взята из лабораторного бассейна, вода в котором не менялась несколько недель и имела у дна осадок окиси железа. В данном случае осадок имитировал относительно мутную среду. Природная вода не анализировалась, поскольку основным заданием работы была оценка методики измерений в сравнении с ранее действующей установкой.

Пример результатов приводится в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Анализ результатов работы.

Operator : 20:38 Date : 26/3/2016				Operator : 20:41 Date : 26/3/2016			
File of data : 3DI1SM				File of data : 3DI4SM			
3.40E+02	3.04E-04			3.40E+02	2.97E-04		
3.50E+02	2.95E-04			3.50E+02	2.99E-04		
3.60E+02	1.20E-03			3.60E+02	4.22E-04		
3.70E+02	5.68E-03			3.70E+02	8.59E-04		
3.80E+02	1.20E-02			3.80E+02	1.85E-03		
3.90E+02	1.66E-02			3.90E+02	2.19E-03		
4.00E+02	2.14E-02			4.00E+02	2.83E-03		
4.10E+02	2.37E-02			4.10E+02	3.03E-03		
4.20E+02	2.59E-02			4.20E+02	3.54E-03		
4.30E+02	2.92E-02			4.30E+02	3.88E-03		
4.40E+02	2.62E-02			4.40E+02	3.35E-03		

Продолжение таблицы 3.1

Operator : 20:38				Date : 26/3/2016				Operator : 20:41				Date : 26/3/2016			
4.50E+02	2.55E-02					4.50E+02	3.21E-03								
4.60E+02	2.30E-02					4.60E+02	2.88E-03								
4.70E+02	1.80E-02					4.70E+02	2.49E-03								
4.80E+02	1.54E-02					4.80E+02	1.95E-03								
4.90E+02	1.63E-02					4.90E+02	2.42E-03								
5.00E+02	1.16E-02					5.00E+02	1.63E-03								
5.10E+02	8.48E-03					5.10E+02	1.30E-03								
5.20E+02	8.31E-03					5.20E+02	1.28E-03								
5.30E+02	8.39E-03					5.30E+02	1.21E-03								
5.40E+02	7.40E-03					5.40E+02	1.15E-03								
5.50E+02	5.85E-03					5.50E+02	9.68E-04								
5.60E+02	4.36E-03					5.60E+02	7.48E-04								
5.70E+02	3.96E-03					5.70E+02	7.21E-04								
5.80E+02	3.71E-03					5.80E+02	5.60E-04								
5.90E+02	3.00E-03					5.90E+02	6.05E-04								
6.00E+02	2.84E-03					6.00E+02	5.62E-04								
6.10E+02	2.48E-03					6.10E+02	5.79E-04								
6.20E+02	2.07E-03					6.20E+02	4.05E-04								
6.30E+02	1.66E-03					6.30E+02	4.21E-04								
6.40E+02	1.52E-03					6.40E+02	4.15E-04								
6.50E+02	1.35E-03					6.50E+02	3.83E-04								

Продолжение таблицы 3.1

Operator : 20:38				Date : 26/3/2016				Operator : 20:41				Date : 26/3/2016			
6.60E+02	1.07E-03							6.60E+02	3.45E-04						
6.70E+02	8.95E-04							6.70E+02	3.96E-04						
6.80E+02	8.89E-04							6.80E+02	3.77E-04						
6.90E+02	8.98E-04							6.90E+02	3.61E-04						

В силу того что количество цифр велико все остальные результаты приведены в виде графиков, построенных на основании всех проведённых измерений (рисунки с 3.1 по 3.3).

В частности, на рисунке 3.1, представлена интенсивность света в условных единицах для дистиллированной воды на различных расстояниях от источника. Величина интенсивности пропорциональна коэффициенту пропускания.

Спектры пропускания на интервалах 2 и 3 см различаются меньше, чем на расстоянии 1 см, что свидетельствует об увеличении вклада в ослабление обратного рассеяния.

Интенсивности света в условных единицах для двух проб воды на различных расстояниях от источника, представлены на рисунках 3.2 и 3.3. Проба 2 представляла собой водопроводную воду, а проба 1 (более мутная) бралась из лабораторного бассейна с водой.

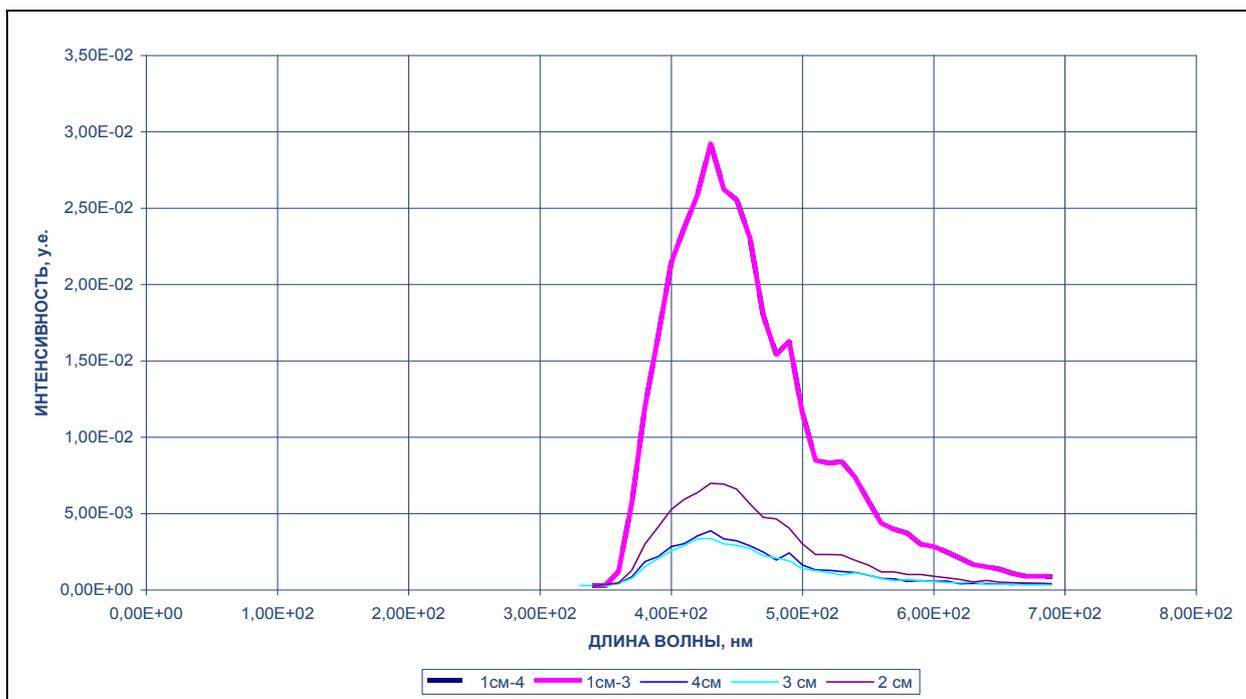


Рисунок 3.1 – интенсивности света для дистиллированной воды на расстояниях 1 – 2; 1 – 3, 1 – 4 см

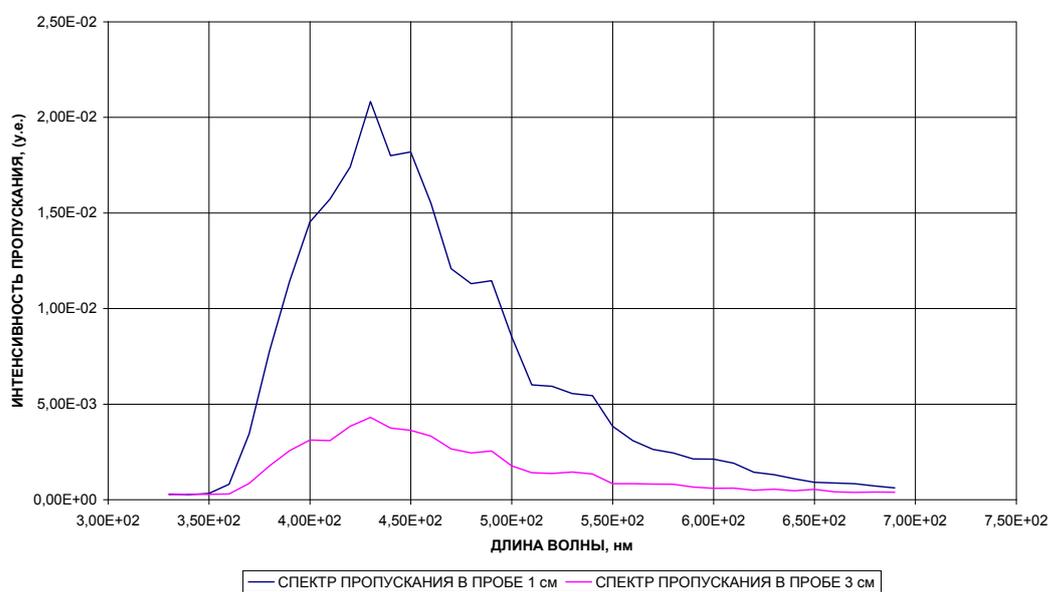


Рисунок 3.2 – График интенсивности пропускания в пробе 1

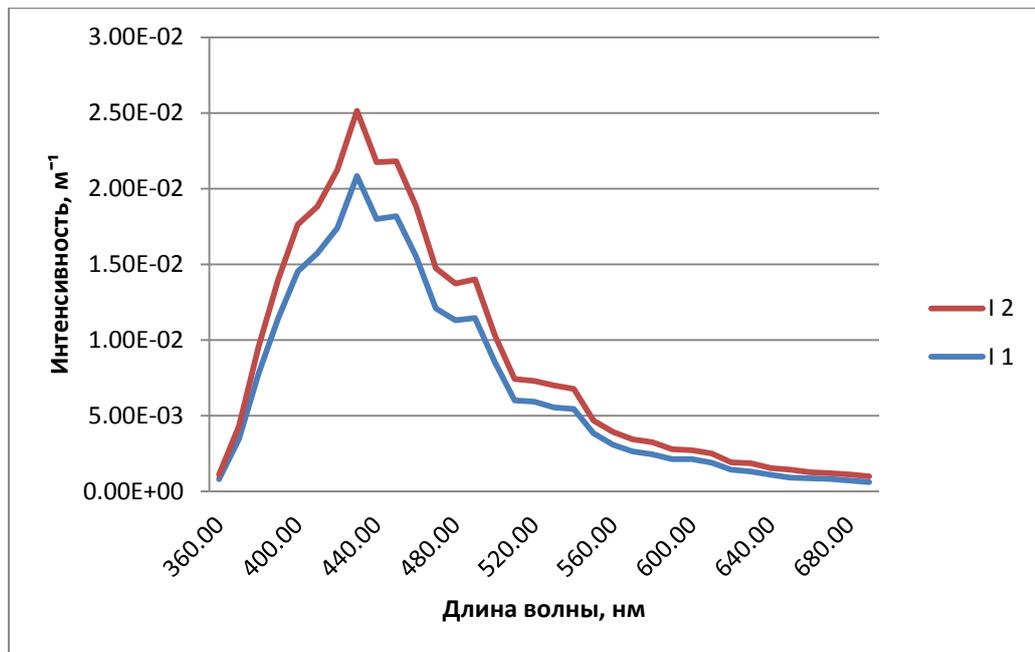


Рисунок 3.3 – Интенсивность пропускания в пробе 2

Расчёт показателей ослабления, рассеяния и поглощения

Расчёт проводился двумя способами.

Первый вариант (экспериментальный) с использованием значения параметра выживания фотона [4] по формуле

$$\Lambda_{\lambda} = \sigma_{\lambda} / \epsilon_{\lambda} \quad (3.4)$$

рассчитаем показатель рассеяния света, т.е.

$$\sigma_{\lambda} = \Lambda_{\lambda} \epsilon_{\lambda} \quad (3.5)$$

а также показатель поглощения

$$\alpha_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} - \sigma_{\lambda} \quad (3.6)$$

Все расчёты сведём в таблицы 3.2 и 3.3, а затем выведем на графики (рисунки с 3.4 по 3.6)

Таблица 3.2 – Расчёт показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в дистиллированной воде

λ	$\Lambda\lambda$	σ_λ	$\alpha_\lambda (1)$	ε_λ
360.00	—	—	—	2.554
370.00	—	—	—	1.151
380.00	—	—	—	1.112
390.00	—	—	—	1.039
400.00	0.44	0.476	0.605	1.081
410.00	—	—	—	1.114
420.00	0.82	0.902	0.198	1.099
430.00	—	—	—	1.025
440.00	0.92	0.921	0.080	1.001
450.00	—	—	—	1.024
460.00	0.15	0.160	0.904	1.064
470.00	—	—	—	1.086
480.00	0.81	0.875	0.205	1.081
490.00	—	—	—	1.021
500.00	0.34	0.361	0.700	1.061
510.00	—	—	—	1.147
520.00	0.12	0.137	1.002	1.138
530.00	—	—	—	1.037
540.00	0.05	0.058	1.098	1.156
550.00	—	—	—	1.280
560.00	0.03	0.039	1.260	1.299
570.00	—	—	—	1.160
580.00	0.01	0.015	1.439	1.454
590.00	—	—	—	1.473
600.00	0.004	0.005	1.217	1.222
610.00	—	—	—	1.330
620.00	0.003	0.005	1.619	1.624
630.00	—	—	—	2.006

Продолжение таблицы 3.2

λ	$\Delta\lambda$	σ_λ	$\alpha_\lambda (1)$	ε_λ
640.00	0.002	0.003	1.600	1.603
650.00	—	—	—	1.886
660.00	0.002	0.004	2.198	2.203
670.00	—	—	—	2.110
680.00	0.001	0.002	2.084	2.086
690.00	—	—	—	3.012

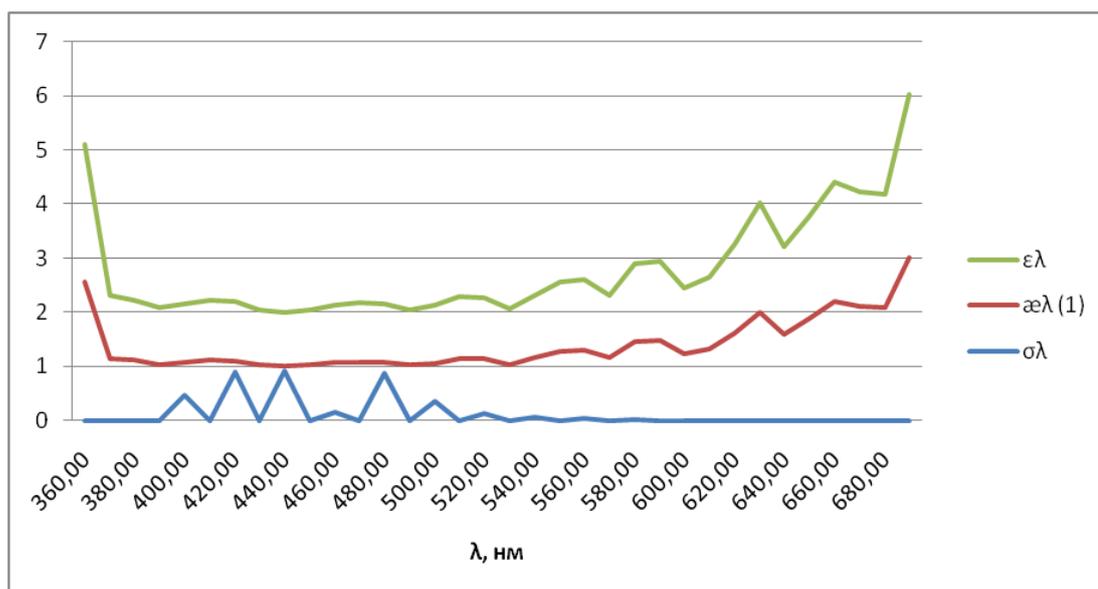


Рисунок 3.4 – График показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в дистиллированной воде

Таблица 3.3 – Расчёт показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в пробе 1

λ	$\Delta\lambda$	σ_λ	$\alpha_\lambda (1)$	ε_λ
360,00	—	—	—	3,160813
370,00	—	—	—	1,644204
380,00	—	—	—	1,70341
390,00	—	—	—	1,496717
400,00	0,44	0,666362	0,848097	1,514458
410,00	—	—	—	1,631825
420,00	0,82	1,283404	0,281723	1,565127
430,00	—	—	—	1,687592
440,00	0,92	1,462026	0,127133	1,589159
450,00	—	—	—	1,607537
460,00	0,15	0,250484	1,41941	1,669895
470,00	—	—	—	1,669445
480,00	0,81	1,259918	0,295536	1,555454
490,00	—	—	—	1,550273
500,00	0,34	0,534063	1,03671	1,570773
510,00	—	—	—	1,699433
520,00	0,12	0,207324	1,520378	1,727703
530,00	—	—	—	1,660744
540,00	0,05	0,093594	1,778291	1,871885
550,00	—	—	—	1,955747
560,00	0,03	0,059632	1,928097	1,987729
570,00	—	—	—	1,737457
580,00	0,01	0,018145	1,796397	1,814542
590,00	—	—	—	1,935953
600,00	0,004	0,006844	1,704278	1,711123
610,00	—	—	—	2,132754
620,00	0,003	0,008006	2,660518	2,668524
630,00	—	—	—	2,12222
640,00	0,002	0,00516	2,574909	2,580069
650,00	—	—	—	2,809471
660,00	0,002	0,006648	3,317528	3,324176
670,00	—	—	—	4,006931
680,00	0,001	0,003946	3,941967	3,945913
690,00	—	—	—	4,784194

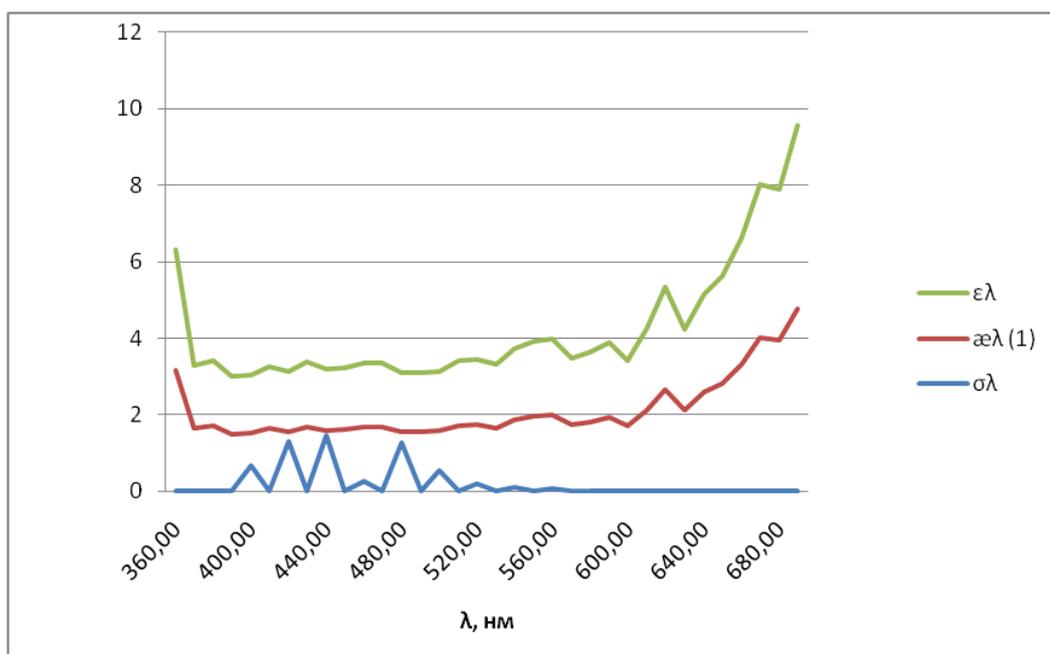


Рисунок 3.5 – График показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в пробе 1

Таблица 3.4 – Расчёт показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в пробе 2

λ	$\Delta\lambda$	σ_λ	$\alpha_\lambda(1)$	ϵ_λ
360,00	—	—	—	2,006771
370,00	—	—	—	1,433162
380,00	—	—	—	1,35147
390,00	—	—	—	1,339622
400,00	0,44	0,571584	0,727471	1,299055
410,00	—	—	—	1,229461
420,00	0,82	1,085668	0,238317	1,323986
430,00	—	—	—	1,268192
440,00	0,92	1,1727	0,101974	1,274673
450,00	—	—	—	1,240206
460,00	0,15	0,194722	1,103427	1,298149
470,00	—	—	—	1,320817
480,00	0,81	1,05675	0,24788	1,30463
490,00	—	—	—	1,330137
500,00	0,34	0,432021	0,838629	1,270651

Продолжение таблицы 3.4

λ	$\Delta\lambda$	σ_λ	$\alpha_\lambda (1)$	ε_λ
510,00	—	—	—	1,379647
520,00	0,12	0,163413	1,198364	1,361777
530,00	—	—	—	1,48098
540,00	0,05	0,071389	1,356392	1,427781
550,00	—	—	—	1,312213
560,00	0,03	0,045858	1,482747	1,528606
570,00	—	—	—	1,713268
580,00	0,01	0,018057	1,787618	1,805675
590,00	—	—	—	1,708419
600,00	0,004	0,006255	1,557537	1,563792
610,00	—	—	—	1,732329
620,00	0,003	0,005538	1,84049	1,846028
630,00	—	—	—	2,307086
640,00	0,002	0,004618	2,304564	2,309182
650,00	—	—	—	3,880897
660,00	0,002	0,005254	2,621708	2,626962
670,00	—	—	—	2,520525
680,00	0,001	0,003465	3,461128	3,464592
690,00	—	—	—	4,565567

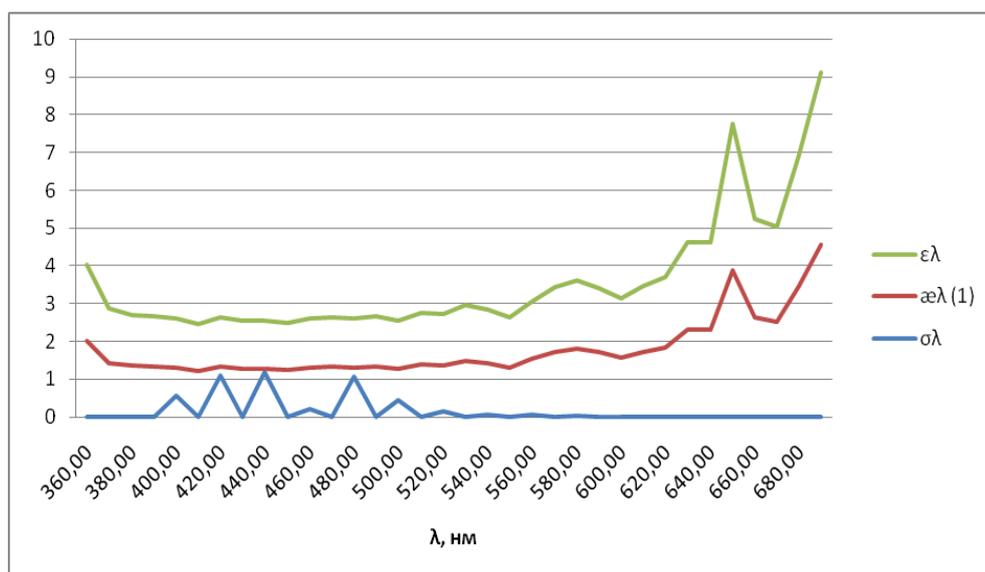


Рисунок 3.6 – График показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в пробе 2

Второй вариант (расчёты на основании предположения о глубинной зоне освещенности)

В среднем показатель вертикального ослабления составляет 20-25% от показателя полного ослабления, для расчёта принята доля 25%. Дальнейшие расчёты проводились по следующим формулам

$$\alpha_{\lambda} \approx 0,25\varepsilon_{\lambda}, \quad (3.7)$$

где α_{λ} – показатель вертикального ослабления

$$\alpha_{\lambda} = \alpha_{\lambda}(1-R), \text{ при } R=0,1 \quad (3.8)$$

R – коэффициент диффузного отражения воды

тогда

$$\sigma_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} - \alpha_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} - \alpha_{\lambda}(1-R) \quad (3.9)$$

соответственно

$$\sigma_{\lambda} = \alpha_{\lambda}(4-1+R) = \alpha_{\lambda}(3+0,1) = 3,1\alpha_{\lambda} \quad (3.10)$$

σ_{λ} – показатель рассеяния

Также все расчёты сведём в таблицы (рисунки 3.5 и 3.6), а затем выведем на график (рисунки с 3.7 по 3.9)

Таблица 3.5 – Расчёт показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в дистиллированной воде

λ	I_1	I_2	ε_λ	α_λ	$\varkappa_\lambda (2)$	σ_λ
360,00	9,37E-04	4,28E-04	2,554305	0,638576	0,574719	1,979586
370,00	4,29E-03	7,54E-04	1,150531	0,287633	0,258869	0,891661
380,00	9,18E-03	1,52E-03	1,112261	0,278065	0,250259	0,862002
390,00	1,41E-02	2,05E-03	1,039277	0,259819	0,233837	0,80544
400,00	1,62E-02	2,55E-03	1,081013	0,270253	0,243228	0,837785
410,00	1,75E-02	2,90E-03	1,113605	0,278401	0,250561	0,863044
420,00	2,06E-02	3,34E-03	1,09889	0,274723	0,24725	0,85164
430,00	2,37E-02	3,37E-03	1,024943	0,256236	0,230612	0,794331
440,00	2,23E-02	3,02E-03	1,001232	0,250308	0,225277	0,775955
450,00	2,05E-02	2,91E-03	1,024346	0,256086	0,230478	0,793868
460,00	1,78E-02	2,72E-03	1,063708	0,265927	0,239334	0,824374
470,00	1,41E-02	2,24E-03	1,085882	0,271471	0,244323	0,841559
480,00	1,33E-02	2,09E-03	1,080486	0,270121	0,243109	0,837377
490,00	1,35E-02	1,90E-03	1,020759	0,25519	0,229671	0,791088
500,00	9,19E-03	1,40E-03	1,061211	0,265303	0,238773	0,822439
510,00	7,18E-03	1,26E-03	1,146806	0,286701	0,258031	0,888774
520,00	6,63E-03	1,14E-03	1,138435	0,284609	0,256148	0,882287
530,00	6,70E-03	9,74E-04	1,037336	0,259334	0,233401	0,803936
540,00	6,27E-03	1,11E-03	1,155414	0,288854	0,259968	0,895446
550,00	4,71E-03	9,88E-04	1,279684	0,319921	0,287929	0,991755
560,00	3,42E-03	7,34E-04	1,298527	0,324632	0,292169	1,006358
570,00	3,33E-03	5,94E-04	1,160013	0,290003	0,261003	0,89901
580,00	2,71E-03	6,86E-04	1,453963	0,363491	0,327142	1,126822
590,00	2,35E-03	6,04E-04	1,472609	0,368152	0,331337	1,141272
600,00	2,70E-03	5,25E-04	1,222127	0,305532	0,274979	0,947148
610,00	2,15E-03	4,79E-04	1,329746	0,332437	0,299193	1,030553
620,00	1,62E-03	4,72E-04	1,624061	0,406015	0,365414	1,258647
630,00	1,36E-03	5,02E-04	2,005806	0,501452	0,451306	1,5545
640,00	1,25E-03	3,58E-04	1,603353	0,400838	0,360754	1,242598
650,00	1,10E-03	3,82E-04	1,885674	0,471418	0,424277	1,461397
660,00	8,84E-04	3,56E-04	2,202592	0,550648	0,495583	1,707009
670,00	8,19E-04	3,17E-04	2,109502	0,527375	0,474638	1,634864
680,00	8,37E-04	3,21E-04	2,086077	0,521519	0,469367	1,61671
690,00	6,64E-04	3,42E-04	3,011452	0,752863	0,677577	2,333875

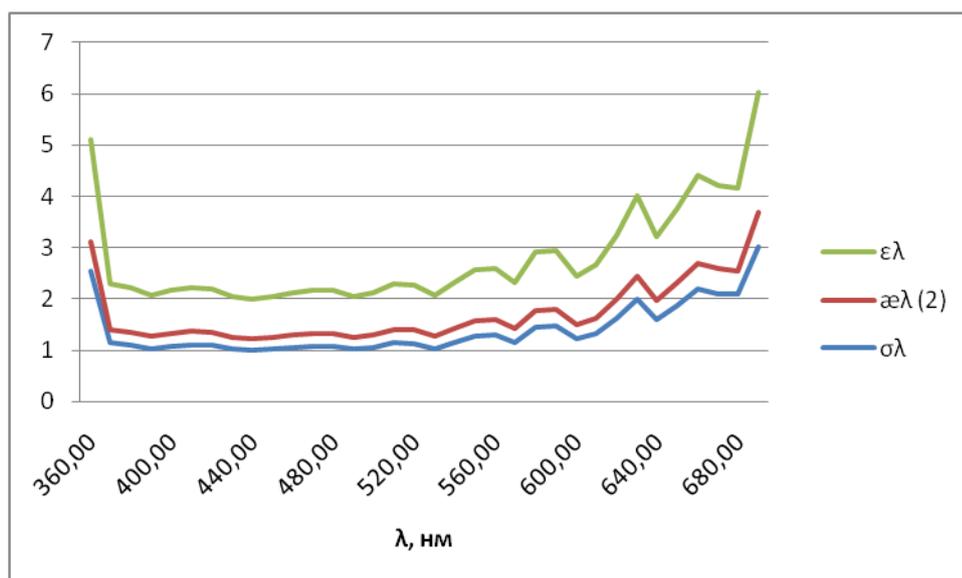


Рисунок 3.7 График показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в дистиллированной воде

Таблица 3.6 Расчёт показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в пробе 1

λ	I_1	I_2	ε_λ	α_λ	$\alpha_\lambda (2)$	σ_λ
360,00	7,06E-04	3,75E-04	3,160813	0,790203	0,711183	2,44963
370,00	2,97E-03	8,79E-04	1,644204	0,411051	0,369946	1,274258
380,00	6,45E-03	1,99E-03	1,70341	0,425852	0,383267	1,320143
390,00	1,00E-02	2,63E-03	1,496717	0,374179	0,336761	1,159955
400,00	1,19E-02	3,18E-03	1,514458	0,378615	0,340753	1,173705
410,00	1,33E-02	3,89E-03	1,631825	0,407956	0,367161	1,264665
420,00	1,45E-02	4,05E-03	1,565127	0,391282	0,352154	1,212974
430,00	1,59E-02	4,85E-03	1,687592	0,421898	0,379708	1,307884
440,00	1,52E-02	4,31E-03	1,589159	0,39729	0,357561	1,231598
450,00	1,51E-02	4,34E-03	1,607537	0,401884	0,361696	1,245841
460,00	1,21E-02	3,65E-03	1,669895	0,417474	0,375726	1,294168
470,00	1,01E-02	3,06E-03	1,669445	0,417361	0,375625	1,29382
480,00	8,85E-03	2,45E-03	1,555454	0,388864	0,349977	1,205477
490,00	9,41E-03	2,59E-03	1,550273	0,387568	0,348811	1,201462
500,00	6,95E-03	1,94E-03	1,570773	0,392693	0,353424	1,217349
510,00	5,08E-03	1,56E-03	1,699433	0,424858	0,382372	1,31706
520,00	4,58E-03	1,44E-03	1,727703	0,431926	0,388733	1,33897

Продолжение таблицы 3.6

λ	I_1	I_2	ε_λ	α_λ	$\varkappa_\lambda (2)$	σ_λ
530,00	5,19E-03	1,56E-03	1,660744	0,415186	0,373667	1,287077
540,00	4,19E-03	1,44E-03	1,871885	0,467971	0,421174	1,450711
550,00	3,11E-03	1,12E-03	1,955747	0,488937	0,440043	1,515704
560,00	2,53E-03	9,27E-04	1,987729	0,496932	0,447239	1,54049
570,00	2,29E-03	7,25E-04	1,737457	0,434364	0,390928	1,346529
580,00	2,04E-03	6,79E-04	1,814542	0,453636	0,408272	1,40627
590,00	1,97E-03	6,99E-04	1,935953	0,483988	0,435589	1,500364
600,00	1,82E-03	5,65E-04	1,711123	0,427781	0,385003	1,32612
610,00	1,35E-03	5,29E-04	2,132754	0,533188	0,47987	1,652884
620,00	1,09E-03	5,16E-04	2,668524	0,667131	0,600418	2,068106
630,00	1,09E-03	4,25E-04	2,12222	0,530555	0,477499	1,64472
640,00	9,30E-04	4,28E-04	2,580069	0,645017	0,580516	1,999554
650,00	7,89E-04	3,87E-04	2,809471	0,702368	0,632131	2,17734
660,00	7,26E-04	3,98E-04	3,324176	0,831044	0,74794	2,576237
670,00	6,21E-04	3,77E-04	4,006931	1,001733	0,90156	3,105372
680,00	6,14E-04	3,70E-04	3,945913	0,986478	0,88783	3,058083
690,00	5,86E-04	3,86E-04	4,784194	1,196049	1,076444	3,70775

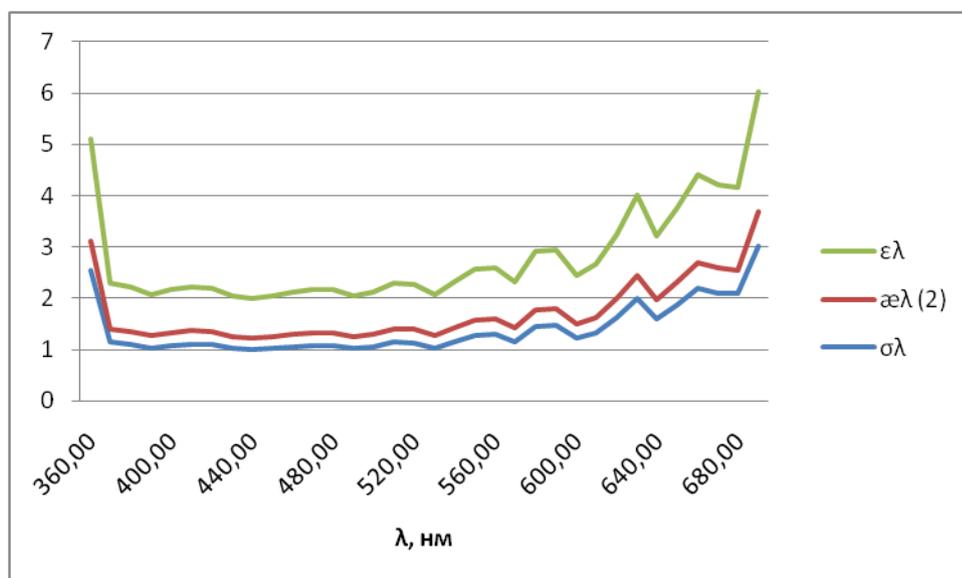


Рисунок 3.8 График показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в пробе 1

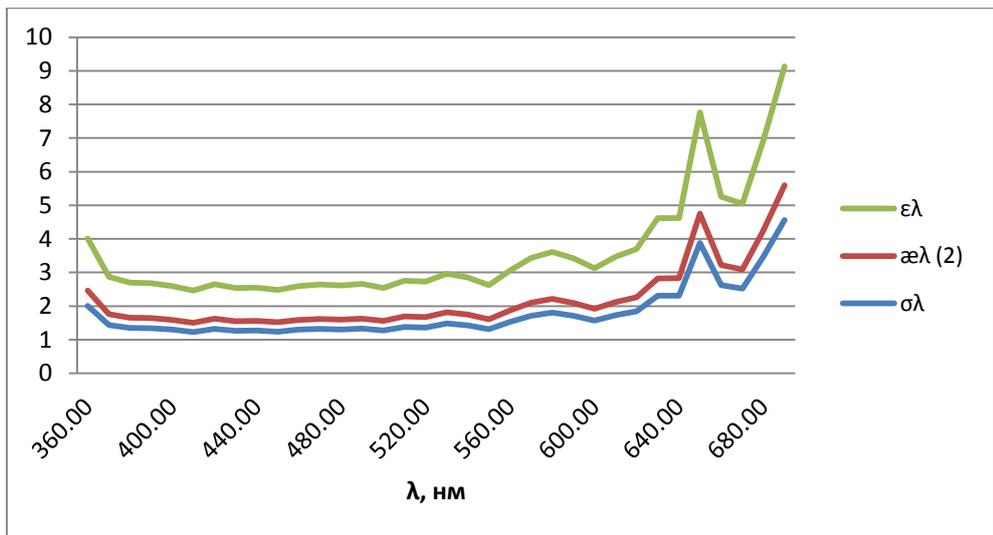


Рисунок 3.9 График показателей рассеяния, поглощения и ослабления света в пробе 2

4 Анализ полученных результатов

Было проведено три серии измерений первая стандартная по дистиллированной воде, вторая водопроводная проба 2, проба 1 также водопроводная вода долго стоявшая в лабораторном бассейне по внешнему виду мутная.

По полученным показателям ослабления для различных спектральных интервалов светового потока (при расстоянии между губками держателя 1и3см) было выявлено, что в пробе воды показатель ослабления выше, чем в дистиллированной.

Несмотря на различия проб у всех у них есть одна общая черта , а именно максимум пропускания или же минимум показателя ослабления – все находятся в близи волны 420нм (фиолетовая область), в тоже время известно, что эти экстремумы для морской воды (чистой) должны располагаться в диапазоне 480-550нм.

Такие результаты могут быть обусловлены тем, что используемая в приборе, как источник света лампа имеет иные спектральные характеристики чем солнечный свет, какие именно достаточно достоверно нам установить не удалось, при этом у нас нет причин сомневаться в качестве спектрального разрешения прибора «Флюорат-02-Панорама». Вторым из не очень понятных результатов является завышенные значения показателей поглощения, рассеяния и ослабления. При этом расчёт ослабления проводился двумя способами.

В первом из них производная интенсивности по направлению распространением излучения рассчитывалась с применение конечных разностей первого порядка. Такое приближение обусловлено тем, что расстояние между двумя уровнями измерения интенсивности было мало, а именно 1, 2, 3 и 4 см.

Второй способ основан на решении уравнения ослабления светового потока с расстоянием происходящих по экспоненциальному закону, для природных условий это соответствует глубинной зоне освещённости при глубине более 4 прозрачностей по белому диску (глубина более $4 Z_6$). Физически это означает, что свет полностью рассеян и флуктуации яркости не происходит, то есть в данном случае мы определить не можем, так как белый диск в кювету не засунешь. Тем не менее глядя на графики интенсивности по всем трем измерениям можно заметить, что при увеличении расстояния между источником света и приёмником они ослабевают очень быстро. В таком случае применении второго способа формально оправдано. Но при этом с увеличением расстояния резко теряется спектральная чувствительность, то есть он различает цвета все хуже и хуже. Поэтому при расчете показателя ослабления, поглощения и рассеяния экстремум становится очень мало выражен.

Предыдущая версия работы [5], где не было в лаборатории «Флюорат-02-Панорама» использовалась стандартная оптическая скамья, приемником был фотоумножитель с сомнительной спектральной чувствительностью.

По этому при обработке результатов применялась математическая аппроксимация компенсирующая области коротких и длинных волн этот технический недостаток.

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{10I\Delta\lambda/\lambda^3+1}{10^3(l_2-l_1)} \ln(U_{\lambda 1}/U_{\lambda 2}) \quad (4.1)$$

Конечно при появлении «Флюорат-02-Панорама» от этой зависимости хотелось бы избавиться.

В [6] приводится общий график экспериментов кривых, показателей ослабления по материалам различных авторов (рисунок 4.1). На рисунке

приводится шесть кривых аппроксимирующих результаты экспериментов разных авторов.

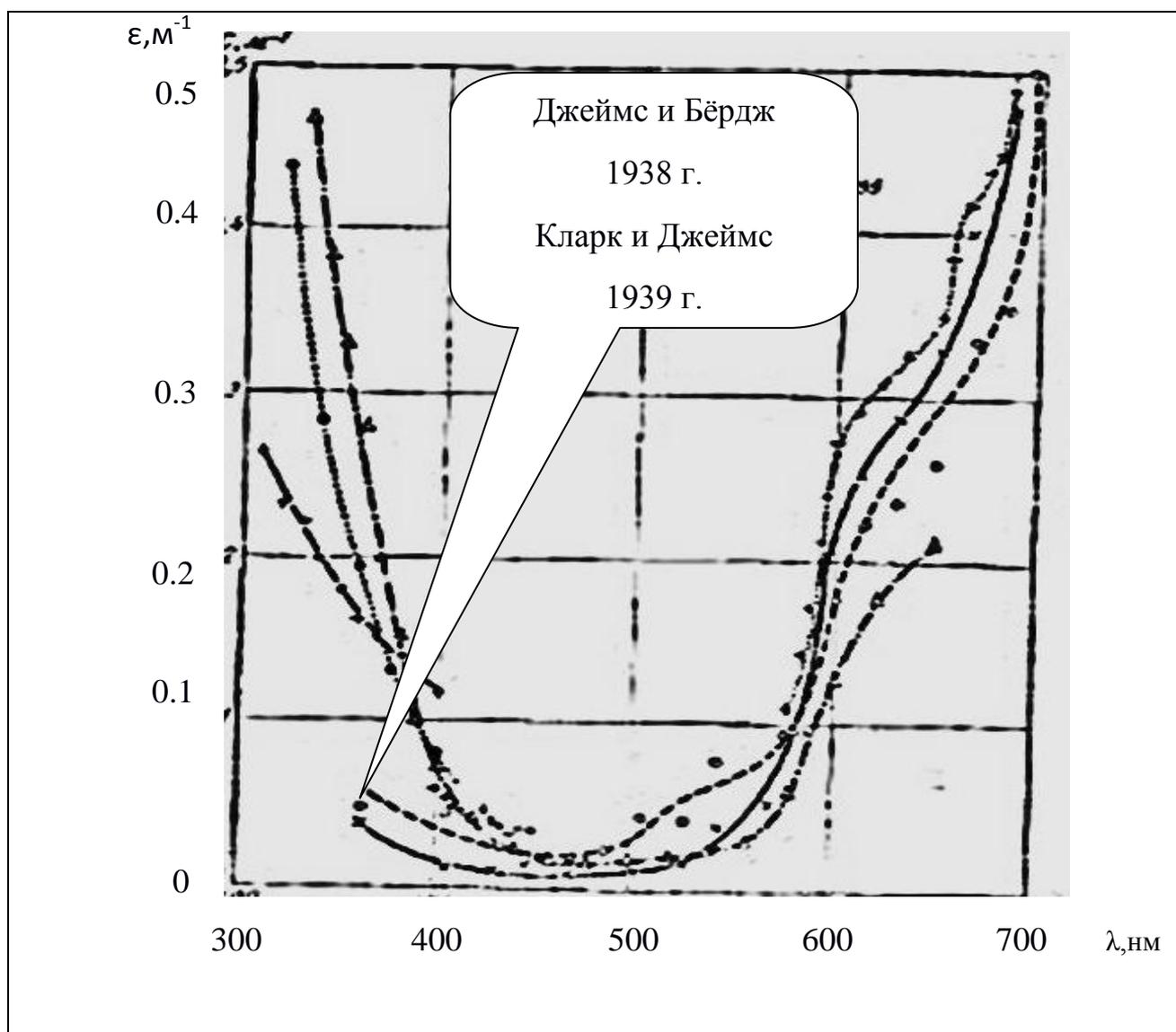


Рисунок 4.1 Основные экспериментальные данные по показателю ослабления (ϵ) чистой воды

Полученные нами в лаборатории результаты наиболее близки с материалами двух авторов Джеймс и Бёрдж, 1938г и Кларк и Джеймс, 1939г. На рисунке 4.1 нет ярко выраженного экстремума в сине-зелёной области спектра. И в целом спектральная чувствительность от синего до красного

света очень мала.

Из теоретических обобщений А. Иванова [6] следует, что показатель ослабления чистой воды – экспериментально наиболее легко получаемая оптическая характеристика. Из рисунка 4.1 можно увидеть, что максимум прозрачности чистой воды находится около 470 нм. С погрешностью до $\pm 10\%$ минимальный показатель ослабления равен, по видимому, 0.02 м^{-1} , что соответствует коэффициенту пропускания на метр, равному 0.98. Показатель ослабления чистой воды для длин волн от 390 до 540 нм, составляет с той же точностью менее 0.05 м^{-1} (что соответствует коэффициенту пропускания больше чем 0.95 на метр). Эти числа можно считать границами «окна прозрачности» чистой воды.

Для самых коротких волн значение s известно ещё менее надёжно. Для более длинных волн s быстро возрастает. Можно принять, что порядок величины коэффициента пропускания на метр уменьшается до 0.72 вблизи 650 нм и до 0.53 около 700 нм. Это быстрое увеличение показателя ослабления обязано своим происхождением увеличению показателя поглощения, который быстро растёт для красного и инфракрасного света.

По мнению Иванова столь существенные различия у шести авторов обусловлены разными условиями проведения измерений. С таким его мнением полностью согласна.

При этом у нас одни и те же измерения обработки двумя способами тоже дали похожие по распределению, но различные по величине результаты. В частности аппроксимируя конечными разностями дала более высокие значения показателя ослабления, поглощения и рассеяния, не исключено что 1 см для кюветы при слабом источнике освещения является достаточно большим расстоянием.

Заключение:

Полученные нами в лаборатории результаты наиболее близки с материалами двух авторов Джеймс и Бёрдж, 1938г и Кларк и Джеймс, 1939г. В целом спектральная чувствительность от синего до красного света очень мала.

Результаты проведенной работы могут быть использованы в учебном процессе исследования оптических характеристик воды. В частности, для улучшения методики измерений, а следовательно, при составлении нового методического руководства.

Можно сделать следующие выводы:

Использование «Флюорат-02-Панорама» для измерений оптических характеристик в целом себя оправдывает в частности, возможно в перспективе отказаться от использования аппроксимирующих функций при обработке результатов измерений, компенсирующих недостатки спектральной чувствительности приёмника излучения.

Для этого необходимо решить две проблемы:

- Оценить спектр излучения лампы;
- Найти техническую возможность проводить измерения на расстоянии менее 1 см между источником и излучателем.

В настоящее время полученные результаты не в полной мере соответствуют характеристикам природной воды, как по минимуму ослабления так и по его величине.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Монин, А.С. Оптика океана [Текст]: в 2-х т. / А.С. Монин. Т. 1.–М.: Наука, 1983.–327 с.
- 2 Брамсон, М.А. Морская рефрактометрия [Текст]: / М.А. Брамсон, Э.И. Красовский, Б.В. Наумов.– Л.: Гидрометеиздат, 1986.–240 с.
- 3 Осинцева, Е.В. Методическое руководство по техническому обслуживанию и эксплуатации спектрофлюориметра «Флюорат-02-Панорама» [Текст] / Е.В. Осинцева.– Екатеринбург, 2008.–93 с.
- 4 Океанографические таблицы [Текст]: /–Изд. четвертое.–Л.: Гидрометеиздат, 1975
- 5 Доронин, Ю.П., Лабораторные работы по физике океана [Текст]: / Ю.П. Доронин, С.В. Лукьянов –СПб.: Изд. РГГМИ, 1993.–87 с.
- 6 Иванов А. Введение в океанографию [Текст]: / А. Иванов; Перевод с фр. под ред. Ю.Е. Очаковского, К.С. Шифрина –М.: Мир, 1978.–566 с.
- 7 Доронин, Ю.П. Физика океана [Текст]: /Ю.П. Доронин.– СПб.: Изд. РГГМУ, 2000.–296 с.
- 8 Ландсберг, Г.С. Оптика [Текст] / Г.С. Ландсберг.– М.: Наука, 1976.–844с.
- 9 Шулейкин, В.В. Краткий курс физики моря [Текст] / В.В. Шулейкин.– Л.: Гидрометиздат, 1959.–477 с.