

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАССЕЯНИЯ УЛЬТРАФИЛЬТРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД

Д.В.Яковлева, О.В.Мартынов

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

*В статье представлены результаты исследования рассеивающих свойств имеющихся в свободной продаже в питьевых вод, измеренных в широком диапазоне углов. Приводятся индикатрисы рассеяния и обсуждаются их особенности. Рассчитаны интегральные параметры рассеяния.*

**Введение.** В настоящее время в связи с все более широким применением в гидрофизических исследованиях гидрооптических приборов, таких как прозрачномеры и нефелометры и усложнением задач, решаемых с помощью этих приборов, возрастают требования к абсолютной калибровке измерителей. Для используемых в МГИ аналитических методов калибровки необходимо знать величину показателя преломления материала иллюминаторов с высокой точностью, кроме того, эти методы не учитывают изменение геометрии измерения при погружении прибора в воду. Указанные недостатки частично можно преодолеть, применяя для калибровки оптически чистую воду. К сожалению, в МГИ нет установки для получения подобной воды. Тем не менее, по экспериментам, проведенным на НИС «Океания» и по сообщениям наших зарубежных коллег известно, что вода, имеющаяся в свободной продаже (в продовольственных магазинах и супермаркетах) по своим оптическим свойствам

иногда не уступает той, которая очищена на специальных установках.

Например, вода из универсала «Wal-Mart» оказалась лучше воды «e-rike», изготовленной в Техасском А&М университете, а польская питьевая вода «Криница» - лучше воды, полученной в Институте океанологии Польской Академии Наук. Исходя из этого, было решено проверить рассеивающие свойства ультрафильтрованной природной воды (воды, прошедшей фильтрацию многометровым слоем почвы и последующую многоступенчатую очистку на промышленных установках), имеющейся в магазинах нашего региона с целью нахождения эталона оптически чистой воды.

**Приборы и инструменты.** Спектральные измерения индикатрис рассеяния проводились нефелометром, разработанным отделом оптики МГИ НАНУ при поддержке «Satlantic Inc». Измеритель индикатрис рассеяния прошел лабораторные калибровки в Далхаузском Университете (Галифакс, Канада) и Стенниссовском Центре Космических Исследований (США), а натурные испытания и интеркалибрацию в рейсе исследовательского судна «Эндевор» и на тестовом полигоне «Лео-15». Подробное описание прибора приводится в работе [1].

Основной особенностью прибора является возможность проведения измерений рассеяния в широком диапазоне углов. Такой диапазон был достигнут в результате применения:

1. специальной теневой методики;
2. управляемого изменения ширины пучка источника света;
3. тщательно сконструированной световой ловушки.

Широкий динамический диапазон работы прибора обеспечивается посредством регулирования чувствительности фотоумножителя с помощью компьютера.

Таблица I – Основные технические характеристики измерителя рассеяния

Угловой диапазон, градусы		0.6 – 178
Расходимость источника света, градусы		0.08
Угол зрения приемника, градусы		0.1 – 1
Длина измерительной базы, м		0.2
Объем пробы, л		1.2
Длины волн цветных светофильтров, нм		443, 490, 510, 555, 590, 620

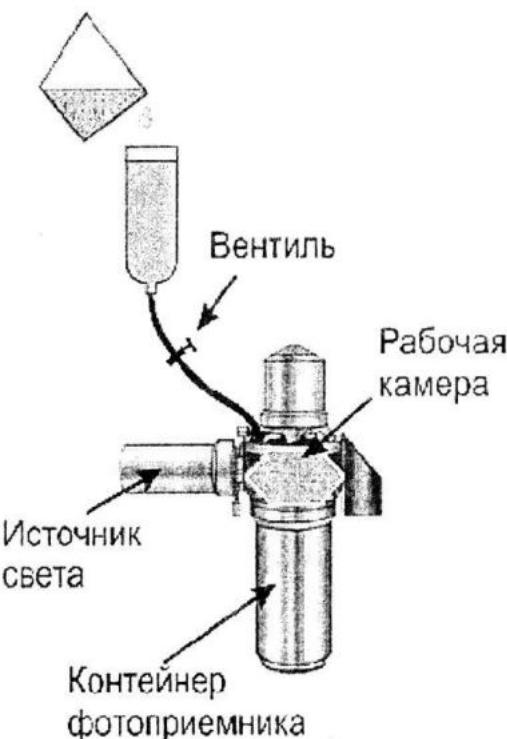


Рисунок 1 – Схема измерительной установки.

**Методика.** Измеритель рассеяния использовался в режиме измерений с прокачкой воды (Рисунок 1). Сосуд с пробой размещался над прибором, и вода самотеком по трубке через управляющий вентиль поступала в измерительную камеру, которая имеет объем приблизительно 1.2 л. Управляющий вентиль был настроен так, чтобы камера была постоянно заполнена водой, но вода не переливалась через ее края.

Для эксперимента было взято девять образцов воды: дистиллированная, «Оболонь», «Бон Буассон», «Ласковая» «Серебряный Родник» «Вини», «Вини Малыш», «Малютко», «Знаменская». Из них были отобраны пять наиболее чистых вод: «Малютко», «Вини Малыш», «Оболонь», «Бон Буассон», дистиллированная, для которых и проводились окончательные расчеты. В ходе проверки воды каждого производителя использовалось 5-6 литров воды, 3 литра из которых употреблялись для промывки прибора. Измерения проводились в углах от  $0.6^\circ$  до  $178^\circ$  с угловым разрешением  $0.3^\circ$  в шести узких участках видимого диапазона (443, 490, 510, 555, 590, 620 нм). Спектральное разрешение составляло 5-10 нм.

Программа обработки данных состояла в следующем:

1. регистрация исходного сигнала, пропорционального рассеянию воды в шести участках видимого диапазона;
2. построении индикаторов рассеяния;
3. расчете спектральных зависимостей показателя рассеяния для воды каждого производителя;
4. расчёте интегральных характеристик рассеяния [2].

**Полученные результаты.** В начале эксперимента было решено провести опыт с пробами водопроводной воды, взятыми в Севастополе, и в Одессе. Анализ полученных данных показал, что водопроводная вода не может быть взята за образец, с которым можно сравнивать все последующие жидкости, принимая её за эталон. Даже по необработанным данным, видно, что рассеяние водопроводной воды превышает рассеяние дистиллированной на 3-4 порядка, практически во всем диапазоне углов, и только в области углов менее  $4^\circ$  различие начинает уменьшаться до 2-2.5 порядков (Рисунок 2).

На рисунке 3 приведены рассчитанные индикаторы рассеяния. Они имеют сильно вытянутую форму, характерную для природных вод. Для вод «Бон Буассон» и «Винни» в диапазоне от 4 до 50 градусов наблюдаются особенности хода кривых, проявляющиеся в наличии выпуклости на угловом распределении индикаторы. Эта особенность не является случайной ошибкой, так как она наблюдалась во всех трех сериях измерений и на всех шести фильтрах. Подобные отклонения были получены В.И. Маньковским (устное сообщение) при экспериментах со спирто-канифольным раствором, разведенным в воде. Подобные результаты свидетельствуют о наличии коллоидного раствора, как в ультрафильтрованных природных водах, так и водно-спиртовом растворе канифоли, графики которых имеют сходную форму. Присутствие коллоидных образований в некоторых из исследованных вод можно объяснить особенностями регламентной процедуры обеззараживания оборудования разлива на предприятиях.

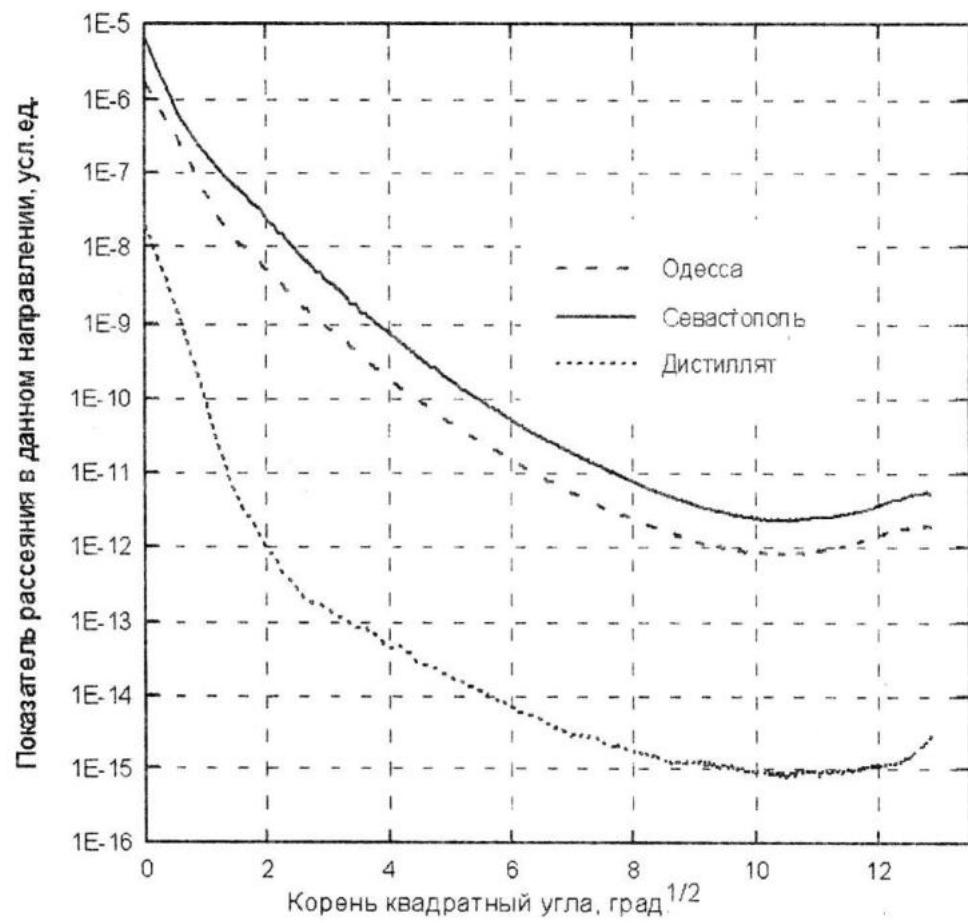


Рисунок 2 – Показатели рассеяния в данном направлении дистиллированной и водопроводных вод для длины волны 555 нм.

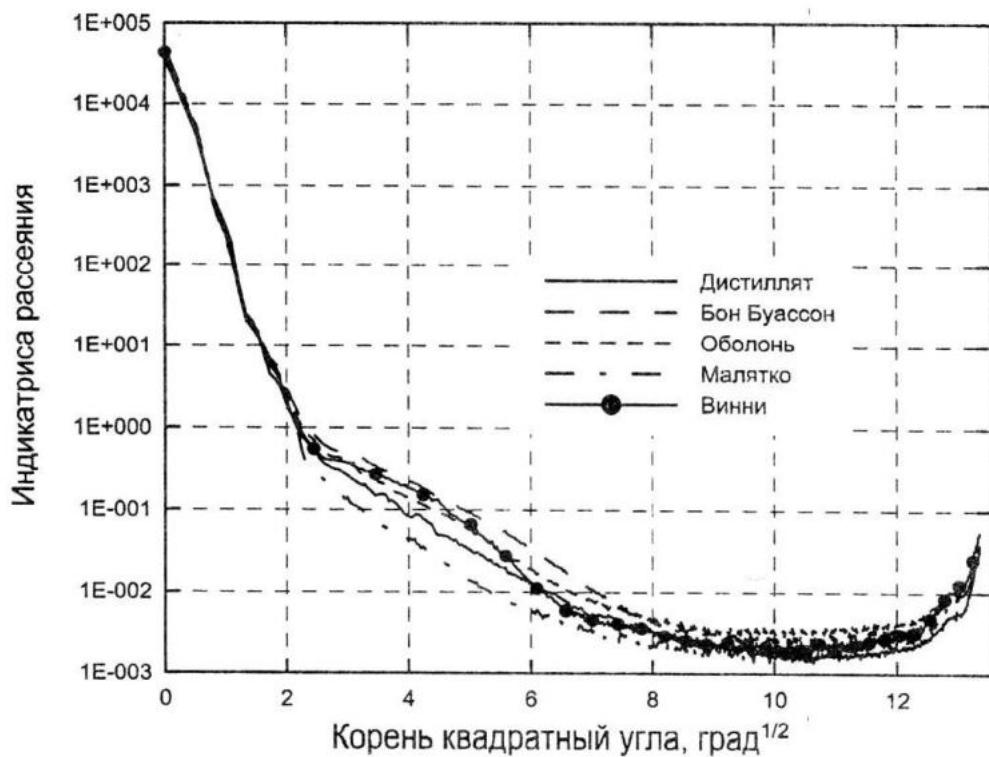


Рисунок 3 – Рассчитанные индикаторы рассеяния для длины волны 555 нм.

Данные рассчитанных значений интегральных характеристик индикатрис рас-

сения света для исследуемых природных вод приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Значения интегральных характеристик индикатрис рассеяния света для исследуемых вод.

Параметры	Дистиллированная	Бон Буасон	Оболонь	Малютко	Винни для детей
$\sigma$ отн. ед.	1	0.55	0.44	0.28	0.26
$S$ вытянутость	4.06	3.95	3.80	4.13	4.00
$K$ асимметрии	52.15	30.16	22.88	37.13	32.36
Спектральный показатель индикатрисы рассеяния	2.51	3.03	3.42	2.32	2.49
$\langle \cos\gamma \rangle$	0.97	0.94	0.94	0.97	0.95
$\langle \gamma \rangle$ , град	4.85	8.32	7.71	4.21	6.33
$\langle \gamma^2 \rangle$ , град	329	554	610	351	469

Значения общего показателя рассеяния приведены относительно показателя дистиллированной воды.

Коэффициент вытянутости у всех вод варьирует в малом диапазоне, что свидетельствует о малой концентрации крупных и мелких частиц. Коэффициент асимметрии изменяется от 23 до 52. Значения средних косинуса, среднего угла и квадрата среднего угла подтверждают высокую степень очистки вод всех производителей.

По результатам расчётов можно делать вывод, что наиболее хорошими оптическими свойствами обладает вода «Оболонь», индикаторика рассеяния которой не имеет особенностей и большинство параметров которой более близки к характеристикам молекулярного рассеяния. Также

можно выделить воду «Малютко», обладающую минимальным относительным показателем рассеяния.

Наихудшими показателями по всем оптическим параметрам обладает дистиллированная вода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. Lee, M. Lewis A new method for the measurement of the optical volume scattering function in the upper ocean // J. Atmos. Ocean. Tech., – 2003. – № 20, – P.563–571.
2. В.И. Маньковский. Основы оптики океана. Методической пособие. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1996. – С. 13, 48–52.