

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗМЕРНОГО СОСТАВА И КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННОГО В ВОДЕ ВЕЩЕСТВА

Д.А. Антоненков

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: science@arkada.com.ua

В статье рассматриваются технические средства для исследования параметров, взвешенного в воде вещества. Приведены функциональные схемы их реализации, а также особенности применяемых в них методов. Выявлены достоинства и недостатки существующих приборов. Сделаны выводы о возможности использования этих приборов для одновременного измерения концентрации и размерного состава взвеси при проведении исследований in situ.

Введение. Получение точных данных о концентрации взвеси и ее размерном составе позволяет экспериментально исследовать процессы взвешивания и перемещения донных наносов, что, в свою очередь, дает возможность, с одной стороны, непосредственно оценивать потоки взвешенного вещества в исследуемой акватории, а с другой – экспериментальной проверки существующих моделей, их верификацию.

Выбор достоверного способа измерения концентрации и размерного состава взвешенного вещества *in situ* с целью последующего определения осредненного по времени вертикального профиля концентрации и размерного состава взвеси является одной из основных задач, без решения которой невозможно изучение процессов перемещения взвешенного вещества и донных наносов.

Поэтому в настоящее время уделяется особое внимание созданию измерительных комплексов, важнейшими элементами которых являются приборы для измерения концентрации и размерного состава взвешенного в воде вещества.

Основная часть. Проведем анализ основных, применяемых на сегодняшний день, технических средств, предназначенных для измерения концентрации и размерного состава взвеси.

Наиболее простой метод определения количественного и качественного состава взвеси – использование ловушек (пробоотборников).

Принцип действия заключается в следующем: ловушки накапливают частицы взвеси, количество которой во времени нарастает. Далее, по истечении определённого времени, ловушки снимаются с донной конструкции. Для определения количества взвеси, накопленной в ловушке, используются измерение уровня или её массы (веса). Измерение уровня может проводиться дистанционно, например, путем измерения электрической проводимости накопленного объема взвеси, как показано на рисунке 1. В частности, такие ловушки применяются в измерительном комплексе «Донная станция» разработанном в МГИ. По окончании измерений осевшая взвесь может быть извлечена из ловушки и подвергнута лабораторной обработке на предмет исследования её качественного состава.

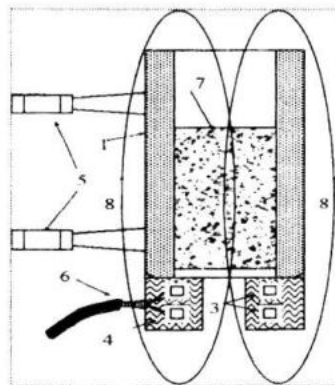


Рисунок 1 – Устройство ловушки взвеси с дистанционным считыванием уровня. Где 1 – пластмассовый стакан; 2 – сетка; 3 – трансформаторная измерительная ячейка; 4 – герметичная заливка; 5 – крепления; 6 – кабельный вывод; 7 – взвесь; 8 – линии тока в воде и взвеси.

Пробоотборники применяются, в основном, для получения информации о концентрации и размерном составе взвеси, после анализа полученных проб под микроскопом. Соответственно данный метод имеет следующие недостатки:

– Занимает много времени, а главное, подсчет под микроскопом связан с субъективными ошибками (наблюдатель может не увидеть часть частиц).

– Слипание частиц, затенение мелких частиц крупными.

– Невозможно получить данные о параметрах взвеси при измерениях *in situ*.

Далее рассмотрим приборы, основанные на кондуктометрическом методе измерения концентраций взвеси. Принцип действия: проба воды под давлением пропускается через узкое калиброванное отверстие диаметром порядка 0,1 мм. Непроводящие частицы взвеси, с большой скоростью пропускаемые через малый измерительный объем, уменьшают сечение проводника и формируют узкие импульсы напряжения, амплитуда которых зависит от размера частицы. Непосредственный счет импульсов с применением амплитудного анализатора позволяет определять концентрацию взвеси в пробах морской воды.

К достоинствам приборов можно отнести то, что дисперсионный анализ взвеси можно проводить сразу же после извлечения пробы, на борту судна. Благодаря этому можно избежать многих ошибок, связанных с хранением и возможным «старением» проб, визуальным подсчетом частиц под микроскопом. Однако длительные исследования возможностей этих приборов в анализе размеров частиц выявили ряд ограничений в их применимости. В частности, выяснилось, что зависимость амплитуды импульса от объема частицы носит достаточно сложный характер. Данная функция чувствительна к геометрии отверстия и траектории частицы внутри этого отверстия. Также зависимость амплитуды импульса от размера различается для биологических частиц и для частиц терригенного происхождения. В настоящее время изучена математическая связь между размером частицы и амплитудой импульса, установлено влияние формы и проводимости частицы на результаты измерения, разработана оптическая техника для контроля положения частицы в отверстии. Однако реализация данного метода при измерениях *in situ*, весьма сложна, поэтому эти приборы в основном применяются при лабораторных исследованиях.

Особенности применения кондуктометрического метода для измерений концентраций взвеси *in situ* рассмотрены в работе [1]. Метод основан на регистрации среднего значения суммы импульсов, формируемых потоком непроводящих частиц,

проходящих на различных прицельных расстояниях от точечного электрода малого диаметра. Данный метод позволяет измерять суммарную массовую концентрацию и может применяться для изучения корреляционных связей между флуктуациями интенсивности поля скорости течения и пульсациями массовой концентрации взвеси. При измерениях *in situ* существует также, принципиальная возможность получения функции распределения частиц взвеси по размерам, путем анализа амплитуд импульсов. Для этого среди всего множества импульсов нужно отобрать для анализа только те, которые проходят на фиксированном прицельном расстоянии, а значит, имеют одинаковую геометрическую ширину. Т.е. нужно конструировать более сложное логически и комплексированное с измерителем мгновенной скорости течения устройство.

Теперь проведем анализ приборов, основанных на оптических методах измерения. Они наиболее часто применяются и обладают хорошим быстродействием.

Наиболее часто применяются приборы, в основе которых лежит турбидиметрический метод определения концентрации взвешенного вещества.

В основе турбидиметрии лежит закон Бугера, в соответствии с которым начальный поток излучения Φ_0 , прошедший в некоторой среде путь l , ослабляется этой средой до уровня Φ по формуле:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \exp(-\varepsilon \cdot l), \quad (1)$$

где ε — показатель ослабления светового потока данной средой

Оптические приборы конструируются таким образом, что позволяют получать электрические сигналы I_0 и I , пропорциональные Φ_0 и Φ , соответственно.

Таким образом, для выходных параметров турбидиметра уравнение (1) можно записать в виде:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\varepsilon \cdot l),$$

откуда:

$$\varepsilon = \frac{1}{l} \ln \frac{I_0}{I}. \quad (2)$$

Турбидиметрический метод предполагает, что между концентрацией взвеси и показателем ослабления существует линейная взаимосвязь [2].

Прибор (прозрачномер) основан на одновременном измерении среднего значения интенсивности прошедшего через среду света I и дисперсии флуктуаций этой величины D . Функциональная схема прозрачномера представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Функциональная схема прозрачномера.

Оптическая часть состоит из источника света – ИС (твёрдотельный лазер), фотоприёмника – ФП; светофильтра – СФ, пропускающего только излучение лазера, полупрозрачного зеркала – ППЗ, обычного зеркала – З, иллюминатора – И; световозвращающей трипльпризмы – ТП, диафрагмы – Д и электромагнита ЭМ для управления зеркалом.

Измерительная часть состоит из блока усиления и фильтрации, аналогово-цифрового преобразователя и микроконтроллера. После выполнения измерений, полученные данные сохраняются для последующей обработки.

Для расчета концентрации взвеси используются следующие соотношения:

$$I = I_0 e^{-\tau},$$

$$D = I_0^2 \frac{\varphi(\tau)}{nl}.$$

Здесь n – концентрация частиц, l – длина пути света в среде, I_0 – интенсивность падающего пучка, $\varphi(\tau)$ – некоторая специальная функция, определяемая из оценочных таблиц по известным значениям τ .

Вычислив τ и D по измеренным значениям I и ΔI , можно определить средний поперечник ослабления света S частицей, перекрывающей свет, и концентрацию (числовую) n :

$$S = \frac{DS_n \tau}{I_0^2 \varphi(\tau)},$$

$$n = \frac{\tau}{lS},$$

где S_n – площадь сечения пучка света.

Таким образом, приборы, основанные на этом методе, позволяют определить концентрацию и средний размер частиц взвеси. По результатам лабораторных экспериментов средняя ошибка в определении размеров частиц составляет порядка 6% [3]. Прозрачномеры широко используются для проведения экспресс-анализа концентрации взвешенного вещества. Они позволяют определять интегральное значение концентрации взвеси и её средний размер, но не дают возможность для определения размерного состава. Важным преимуществом является возможность проводить измерения *in situ*, а также относительная простота конструкции приборов.

Проанализируем приборы, основанные на нефелометрическом методе определения концентрации и размерного состава взвешенного вещества (нефелометры). Принцип действия заключается в измерении световой энергии, рассеиваемой частицами под углами, отличными от нулевых по отношению к направлению падающего света. Существует несколько методов проведения измерений. К таким методам относятся: метод малых углов, спектральной прозрачности, полной индикатрисы. Методы спектральной прозрачности и полной индикатрисы применяются для анализа мелких частиц размером 0,02 – 1 мкм в лабораторных условиях. Поэтому основным методом, применяемым для исследования концентрации и размерного состава морской взвеси, является метод малых углов [3].

Метод основан на исследовании рассеянного вперед зондирующего излучения.

Измерения светорассеяния по методу малых углов производятся по следующей схеме: лазерное излучение, проходя через кювету, рассеивается частицами и попадает на фотоприемник – ПЗС-линейку, далее видеосигнал с ПЗС-линейки обрабатывается схемой прибора, после чего проводятся необходимые вычисления, и рассчитывается концентрация и размерный состав взвеси.

Для определения функции распределения по размерам необходимо измерить индикатрису рассеяния. Чтобы избавиться от исходного пучка, который мешает выделить сигнал при малых углах рассеяния, измерения проводятся за пределами фокального пятна, в котором собран исходный пучок. При этом перемещение частиц вдоль и поперек пучка не меняют распределения интенсивности в фокальной плоскости. Свет, рассеянный под данным углом, распределен в фокальной плоскости линзы на соответствующее угловое расстояние от центра и образует ореол вокруг фокального пятна от исходного пучка лазера. Размеры фокального пятна обычно соответствуют углу $\gamma_{\min} \approx 10'$. Измерения индикатрисы рассеяния проводятся для углов $\gamma > \gamma_{\min}$ и захватывают область до $\gamma \approx 4^\circ$.

Основным достоинством нефелометрических методов исследования взвешенного вещества является возможность достаточно точного определения размерного состава. Однако данные методы не лишены и ряда недостатков:

Недостатком большинства известных нефелометров является большое время регистрации индикатрисы рассеяния. Что является весьма важным при измерениях *in situ*.

Серьезное затруднение в практике нефелометрии состоит в том, что интенсивность рассеянного света зависит от концентрации частиц. С ростом концентрации частиц растет и интенсивность рассеяния света. При этом рассеянный свет попадает на большее количество частиц, из-за чего происходит множественное рассеяние и поглощение света. Когда концентрация частиц превосходит определенное значение, определяемый уровень проходящего и рассеянного света резко падает. Это значение является верхней границей измерения прозрачности. По этой причине нефелометры, как правило, используются для измерения малых концентраций однородных частиц на сравнительно больших глубинах.

Цвет взвешенных твердых частиц и жидкости также имеет значение при детектировании рассеянного света. Окрашенное вещество поглощает свет в определенных диапазонах видимой области спектра, изменяя тем самым свойства как проходяще-

го, так и отраженного света. В результате часть рассеянного света не попадает на детектор, что приводит к дополнительным погрешностям измерения.

Именно этот метод наиболее часто применяется для исследования морской взвеси. Однако его точность ограничена вышеперечисленными недостатками и допущениями, которые принимаются при расчете распределения частиц по размерам. Данный метод применяется в основном в лабораторных исследованиях. Его использование при измерениях *in situ* ограничено сложностью организации измерений, для получения достоверных данных.

Заключение. В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что большинство применяемых на сегодняшний день приборов дают возможность проведения исследований только в лабораторных условиях. Те из них, которые реализованы для измерений *in situ*, непригодны для использования в придонной области прибрежной зоны морей (водоёмов), при значительной временной и пространственной переменяемости концентрации взвеси (больших и малых значений) с неоднородным размерным составом (нефелометры), либо они дают только усредненные данные о размерном составе (турбидиметры). Перспективой дальнейших исследований является разработка технических и программно-методических средств, которые позволят измерять концентрацию взвешенного вещества и его размерный состав непосредственно в исследуемой среде.

Л и т е р а т у р а

1. В.З. Дыкман, О.И. Ефремов. Измерение объемной концентрации взвесей по пульсациям электропроводности морской воды / Системы контроля окружающей среды. Методические, технические и программные средства. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2003. – С. 48 – 54.
2. Р.Д. Косьян, И.С. Подымов, Н.В. Пыхов. Динамические процессы береговой зоны моря. – М.: Научный мир, 2003. – 320 с.
3. К.С. Шифрин. Введение в оптику океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 278 с.