

Д. А. Антоненков

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

МЕТОД КОНТРОЛЯ РАЗМЕРНОГО СОСТАВА ЧАСТИЦ МИНЕРАЛЬНОЙ ВЗВЕСИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ

Показан разработанный метод контроля размерного состава частиц минеральной взвеси. Приведен алгоритм работы программного обеспечения для обработки фотоизображений. Описана методика и показаны результаты апробации метода. Метод позволяет получить данные о размерном составе частиц в диапазоне 80 – 1000 мкм с невысокой погрешностью, что является хорошим результатом для косвенного метода определения параметров взвеси. Основным преимуществом данного метода по отношению к традиционным является его возможность работы в условиях высокой динамической активности водных масс, характерной для прибрежной зоны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *размерный состав частиц, гранулометрический состав, морская взвесь, взвешенные наносы, обработка изображений*

doi:10.22449/2413-5577-2018-2-47-52

В настоящее время особое внимание уделяется созданию новых технических средств и технологий для контроля состояния водной среды.

От состава, размера и концентрации взвеси зависят многие характеристики морской среды: физико-механические свойства донного грунта, важные при проектировании гидротехнических сооружений, оптические свойства морской воды (прозрачность, цвет, поглощение и рассеяние света), которые важны для различных применений (военных, научных и экологических), способность адсорбировать различные виды загрязнений. Поэтому определение таких параметров, как размерный состав и концентрация взвешенного в воде вещества является важной и актуальной задачей [1].

Для решения данной задачи были разработаны технические и программные средства, описанные в работах [2] и [3]. Для получения фотоизображений частиц взвеси применялся специализированный фоторегистратор, позволяющий обеспечить время регистрации процесса порядка 4 мкс. Обработка полученных снимков производилась с помощью созданного программного обеспечения, особенность которого заключается в специальной методике калибровки, основанной на калибровочных снимках и масочных эталонных изображениях; одновременном использовании морфологических фильтров и гистограммных методов для обработки снимков; в создании специального вычислительного блока, позволяющие рассчитывать размерный состав и концентрацию частиц на изображениях [3]. Блок-схема алгоритма работы программного обеспечения представлена на рис. 1.

Работа программного обеспечения в соответствии с данной блок-схемой заключается в последовательном выполнении ряда подпрограмм. В итоге

© Д. А. Антоненков, 2018



Р и с . 1 . Блок-схема алгоритма обработки изображений.

вычислений формируется ряд результирующих массивов и данных: массив площадей, занимаемых частицами; массив, содержащий радиусы частиц; массив, содержащий массы частиц; количество частиц, массовая концентрация частиц в исследуемом объеме. Детально работа программного обеспечения описана в работе [3].

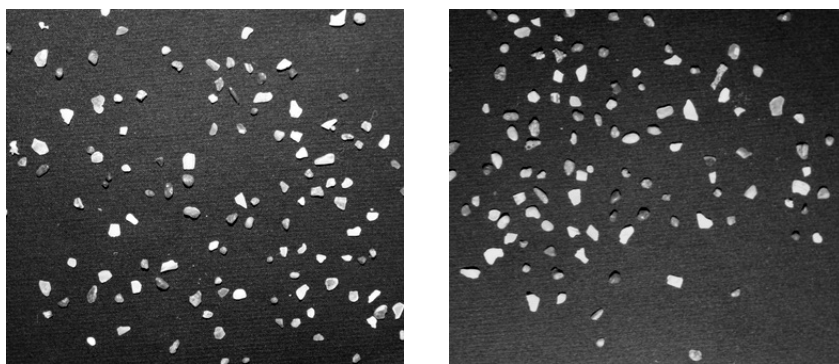
Цель данной работы заключается в том, чтобы показать результаты апробации и проверки работоспособности программного обеспечения в части определения размеров частиц. Для этого был разработан метод контроля размерного состава частиц.

Методика выполнения экспериментов заключалась в следующем:

1. Исходная проба песка общей массой 100 г разделяется на фракции с помощью метода ситового просеивания [4 – 6]. Для дальнейшего анализа выделяются три фракции с диаметром частиц: 0,1 – 0,25; 0,25 – 0,5; 0,5 – 1 мм. Для анализа формируются 10 проб каждой фракции.

2. Далее часть частиц определенной фракции рассыпается произвольным образом на ровную матово-черную поверхность. Данный цвет поверхности выбран с целью обеспечения большей контрастности получаемых снимков, а также для того, чтобы исключить влияние любых внешних факторов, так как данный эксперимент направлен исключительно на тестирование алгоритма работы программного обеспечения в части определения размеров частиц.

3. Фоторегистратор закрепляется на штативе, позволяющем регулировать высоту, для возможности его установки на определенном расстоянии от поверхности, на которой размещается проба. Это расстояние соответствует минимальной дистанции фокусировки и составляет 16,5 см от передней линзы объектива.



Р и с . 2 . Укрупненные фрагменты полученных серий изображений с частицами диаметром 0,1 – 0,25 мм.

4. Над поверхностью, на которой размещены частицы, помещается лампа, обеспечивающая дополнительную подсветку. Причем лампа размещается таким образом, чтобы тень от фоторегистратора не попадала в кадр. Подсветка работает в постоянном режиме.

5. После проведения подготовительных операций производится регистрация изображений частиц. Для каждой отобранной фракции опыт повторяется три раза с другой порцией частиц для получения более достоверных результатов.

6. Полученные изображения обрабатываются программой в соответствии с разработанным алгоритмом, и определяется размерный состав частиц.

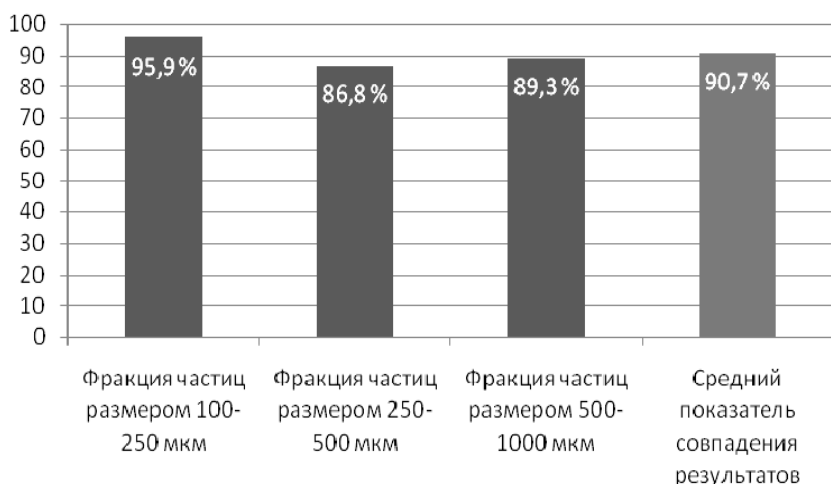
Полученные в ходе экспериментов изображения с частицами диаметром 0,1 – 0,25 мм представлены на рис.2.

Количественные данные, показывающие результаты программной обработки полученных изображений, представлены в таблице, где показано процентное содержание частиц разных фракций, полученное в результате программного анализа изображений для каждой из серий снимков. Также рассчитан осредненный показатель для всех серий снимков по каждой из фракций.

Проанализировав полученные результаты для пробы с частицами диаметром 0,1 – 0,25 мкм, можно сделать вывод, что в ходе программной обра-

Т а б л и ц а . Распределение частиц по размерам в процентном соотношении.

серия снимков	кол-во частиц, шт.	распределение по фракциям, %					
		диаметр частиц, мкм					
		< 200	200 – 300	300 – 400	400 – 500	500 – 600	> 600
серия №1	188	40,43	56,91	2,66	0	0	0
серия №2	247	44,94	49,80	5,26	0	0	0
серия №3	90	47,8	47,8	4,4	0	0	0
средний показатель		44,4	51,5	4,1	0	0	0



Р и с . 3 . Диаграмма результатов определения размерного состава частиц методом фоторегистрации.

ботки снимков полученное распределение частиц по размерам является достоверным, о чем свидетельствует диаграмма, представленная на рис.4. Так, доля частиц диаметром от 100 до 300 мкм составляет 95,9 % от общего числа частиц, то есть соответствует данным, полученным стандартным ситовым методом гранулометрического анализа, с помощью которого была получена данная фракция с размерами частиц 0,1 – 0,25 мкм. Наличие небольшой доли частиц (4,1 %) более крупного размера обусловлено сложной геометрической формой частиц. Более крупные частицы песка при ситовом просеивании могут проходить через отверстие. Так, например, частицы в форме эллипса могут проходить через сито меньшего диаметра при определенной ориентации в пространстве. Это является недостатком ситового метода.

Для получения более точных результатов был выполнен аналогичный анализ проб с частицами диаметром 0,25 – 0,5 и 0,5 – 1 мм. Результаты обработки показали, что частицы размером 200 – 500 мкм, как и в опыте с частицами меньшей фракции, составляют наибольшую процентную долю от общего числа, а именно 86,8 %. Кроме того, было замечено, что в итоговых данных при обработке фракции 0,25 – 0,5 мм присутствовали частицы меньшего размера, до 200 мкм, и занимали долю в 5,8 % от общего количества частиц. Это можно объяснить тем, что не все мелкие частицы проходят через сито из-за так называемой «закупорки» отверстий. При просеивании частицы неправильной формы, например, клиновидной, могут застревать в отверстиях сита, не давая более мелким частицам проходить в следующее сито, тем самым формируя определенный процент частиц меньшего размера в данной фракции. Данный факт является недостатком ситового метода [7]. Также был выполнен анализ изображений с частицами самой крупной фракции 0,5 – 1 мм. Программная обработка полученных снимков дала схожие результаты.

Для определения размеров частиц помимо ситового метода применяются также метод динамического рассеяния света [8]; нефелометрический метод определения размерного состава частиц [7]. Однако для поставленной

задачи, а именно апробации разработанного метода, наиболее подходящим является ситовый метод, так как не требует значительных материальных затрат на организацию экспериментов и является достаточно простым в проведении измерений.

Заключение. Таким образом, проанализировав все результаты экспериментов, можно сделать вывод, что разработанный алгоритм полностью работоспособен, о чем свидетельствует достаточно хорошее совпадение результатов, полученных методом фоторегистрации и стандартным методом ситового просеивания. Данный факт наглядно демонстрирует диаграмма, представленная на рис.3.

На диаграмме в процентном соотношении показано, какое количество частиц, определенное в результате программной обработки полученных изображений, соответствует диапазону размеров частиц, отобранных ситовым методом. Средний показатель совпадения результатов двух методов, полученный в результате экспериментов, составил 90,7 %. Данный показатель свидетельствует о достаточно высоком совпадении результатов двух методов, что, в свою очередь, характеризует работоспособность разработанного метода фоторегистрации. В итоге разработанный метод позволяет получить данные о размерном составе частиц в диапазоне 80 – 1000 мкм с невысокой погрешностью, что является хорошим результатом для косвенного метода определения параметров взвеси. Основным преимуществом данного метода по отношению к традиционным является его возможность работы в условиях высокой динамической активности водных масс, характерной для прибрежной зоны. Кроме того, его использование не требует значительных материальных и трудовых затрат, при этом обеспечивая приемлемую точность измерений.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Крыленко М.В.* Исследование механизмов формирования поля концентрации взвешенных песчаных наносов в береговой зоне: Автореф.... дис. канд. геогр. наук: 25.00.28.– Геленджик, 2007.– 22 с.
2. *Антоненков Д.А.* Метод определения характеристик взвешенного в воде вещества // Датчики и системы.– 2016.– № 5 (203).– С.48-52.
3. *Антоненков Д.А.* Метод обработки фотоизображений водной среды для определения параметров минеральной взвеси // Морской гидрофизический журнал.– 2016.– № 5.– С.38-47.
4. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии.– М.: Химия, 1989.– 448 с.
5. *ГОСТ 27562–1987.* Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Определение гранулометрического состава методом ситового анализа.– М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987.– 11 с.
6. *ГОСТ 18318–1994.* Порошки металлические. Определение размера частиц сухим просеиванием.– Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1994.– 11 с.

7. *Шифрин К.С.* Введение в оптику океана.– Л.: Гидрометеиздат, 1983.– 280 с.
8. *Brown W.* Dynamic Light Scattering: the Method and Some Applications.– Oxford, 1993.– 752 p.

Материал поступил в редакцию 12.04.2018 г.
После доработки 15.05.2018 г.

D.A.Antonenkov

METHOD OF CONTROL OF LENGTH FREQUENCY OF MINERAL SUSPENSION PARTICLES USING PHOTOGRAPHING IMAGES SOFTWARE PROCESSING

The developed method of control of length frequency of mineral suspension particles. The software operation algorithm for photographing images processing is given. The technique is described and the method of approbation results are shown. The developed method makes it possible to obtain the size composition of particles in the range 80 – 1000 μm with a low error, which is a good result for an indirect method for determining the suspended matter parameters. The main advantage of this method in relation to the traditional is its ability to work under conditions of high dynamic water activity typical in the coastal zone.

KEYWORDS: length frequency of particles, grain-size composition, marine suspension, sediment suspension, images processing