

**К ВОПРОСУ ОБ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ
ДЕФОРМАЦИЙ РЕЛЬЕФА ДНА ВО ВРЕМЯ ШТОРМА**

Проведен анализ современных методов и приборов, используемых для измерения деформаций рельефа береговой зоны, возникающих под воздействием штормового волнения. Описана новая методика, позволяющая проводить измерения положения поверхности дна, сложенного подвижными грунтами, в любой точке береговой зоны непосредственно во время прохождения шторма. Приводится описание действующего прототипа прибора для непрерывного измерения положения границы раздела двух сред с различной плотностью. Представлены результаты использования данного прибора в качестве электронной мерной рейки. Описаны дополнительные возможности применения модифицированных вариантов прибора в качестве волнографа и мареографа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *береговая зона, деформации рельефа дна, измеритель положения поверхности дна, электронная мерная рейка, волнограф, мареограф.*

Получение натурных данных об изменениях рельефа дна на подводном береговом склоне (ПБС), сложенном подвижными грунтами, непосредственно во время воздействия ветрового волнения (ВВ) является одной из важнейших задач при исследовании литодинамических процессов в береговой зоне (БЗ).

Цель настоящей работы: представить результаты разработки прибора для непрерывного измерения положения поверхности дна в любой точке БЗ непосредственно во время шторма.

В настоящее время для исследования деформаций рельефа ПБС используются различные методы и средства [1, 2]. Наибольшее распространение получили точечные либо площадные измерения высотных отметок дна по схеме «до шторма – после шторма», не предусматривающей проведение измерений *in situ* непосредственно во время его прохождения. В основном это обусловлено значительными трудностями, связанными с тем, что инструментальные измерения во время шторма должны проводиться в жестких гидролитодинамических условиях, характеризующихся большими придонными скоростями волновых течений, перемещением больших объемов влекомых наносов различной крупности, значительной концентрацией взвешенных наносов и т. д. Необходимость работы измерительной техники в подобных экстремальных условиях в первую очередь существенно сужает круг физических принципов, которые могут быть использованы при разработке датчиков и вариантов конструкции корпусов приборов, а так же требует полной автоматизации процесса измерений и накопления информации либо передачи данных в режиме реального времени.

В связи с этим, в настоящее время существует достаточно узкий круг приборов, позволяющих проводить измерения деформаций рельефа дна при

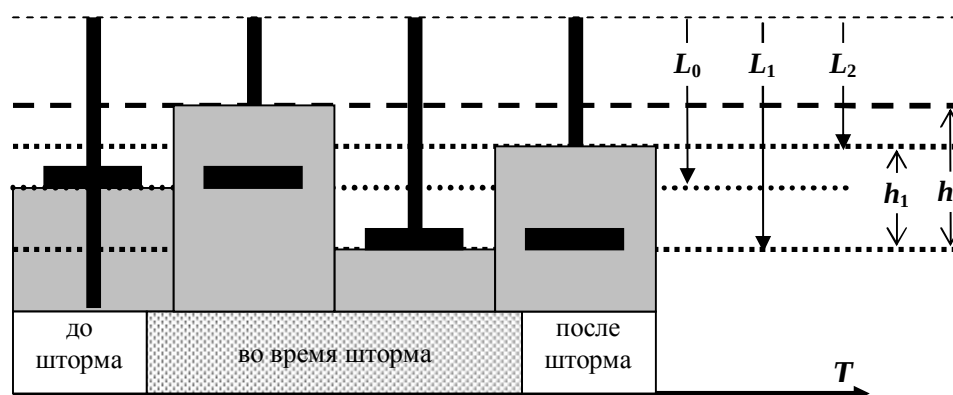
сильном волнении, которые к тому же имеют существенные ограничения по условиям применения, а также определенную зависимость диапазона и точности измерений от параметров окружающей среды. При проведении измерений деформаций рельефа дна во время шторма в основном используются приборы, датчики которых устанавливаются в одной точке на фиксированном расстоянии от поверхности дна.

Наиболее распространена установка акустических приборов различных типов [3, 4], в том числе работающих по принципу лоатора бокового обзора и позволяющих проводить не только высокоточные измерения уровня дна, но и фиксировать параметры микроформ рельефа. Однако данное оборудование является дорогостоящим и устанавливается преимущественно на стационарных сооружениях, что снижает возможности получения оперативной информации в экспедиционных условиях. Помимо этого имеются существенные ограничения точности измерений, зависящие от количества и состава взвешенного вещества в придонном слое жидкости.

Датчик уровня донных отложений ЮО ИО РАН [5] представляет собой электронно-механический прибор для измерения мгновенных значений толщины донных отложений в фиксированной точке. Установка прибора производится путем помещения в грунт на глубину 20 – 40 см. При этом прибор имеет следующие ограничения: максимальный допустимый измеряемый вес грунта над мембраной 5 кг; диапазон измерения толщины песчаного грунта 0,0 – 0,4 м; максимальная толщина грунта над датчиком в процессе измерения (связана с “арочным” эффектом) 0,25 м. Линейная зависимость выходного сигнала датчика от толщины слоя песка над ним наблюдается до толщины слоя 220 мм. При увеличении толщины слоя линейность зависимости сохраняется только для крупного песка.

Датчик прибора *SediMeter* [6] представляет собой прозрачный стержень диаметром 20 мм, в который встроены линейный массив из 36 инфракрасных детекторов обратного рассеяния общей длиной 35 см. После последовательного включения детекторов аналого-цифровой преобразователь измеряет количество отраженного света. Эти данные позволяют определить положение поверхности дна, а так же получить оценки мутности в придонном слое, как функции отраженного в воде сигнала. В условиях, близких к идеальным, потенциальная точность определения изменения положения границы вода – дно может достигать 0,1 мм. Однако данные, получаемые при натурных измерениях в потоках с большой мутностью, не позволяют даже четко определить само положение твердой поверхности дна [7]. Качество получаемой информации также существенно снижается при загрязнении и обрастании прозрачной поверхности корпуса.

Метод подвижных шайб [8] основан на измерениях положения металлической шайбы, надетой на металлический стержень, заглубленный в грунт, до шторма (L_0) и после его окончания (L_1), а также измерении положения поверхности дна после шторма (L_2) (рис.1). Это позволяет точно зафиксировать самое низкое положение поверхности дна во время шторма (L_1) и условно определить толщину подвижного слоя наносов (h_1). Условность заключается в том, что если на определенной фазе процесса деформации рельефа дна происходила аккумуляция донных отложений и отсчиты-



Р и с . 1 . Схема перемещения подвижной шайбы и возможный вариант изменения положения поверхности дна во время шторма.

ваемая от верхнего конца стержня глубина становилась меньше h_2 , то фактическая толщина подвижного слоя (h_2) может существенно отличаться от рассчитанной по результатам измерений (h_1).

В некоторых случаях, посредством дополнительной установки подвижной рейки с маркерами, так же удавалось с помощью теодолита проводить фиксацию положения шайбы через определенные промежутки времени, что при однонаправленном размыве дна позволяло определить скорости размыва в различные фазы шторма [8]. Таким образом, данный метод занимает некоторое среднее положение между измерениями по схеме «до шторма – после шторма» и регистрацией отметок дна во время шторма.

В свою очередь, несмотря на указанные недостатки, данный способ измерений, помимо низкой себестоимости самого прибора, а также затрат на его установку и обслуживание, имеет следующие дополнительные преимущества при сравнении с другими описанными приборами:

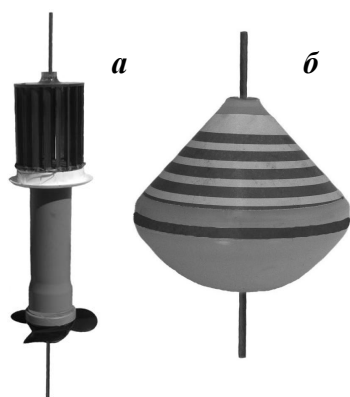
- положение шайбы всегда достаточно точно отслеживает положение поверхности дна при размыве грунта;
- работа прибора не зависит от параметров водной среды, наличия взвеси и водорослей, а так же загрязнения и незначительного обрастания;
- конструкция прибора практически исключает возможность механических повреждений, что позволяет производить его установку непосредственно в зоне разрушения волн.

В связи с этим, при разработке нового прибора использованы и развиты основные принципы проведения измерений по методу подвижных шайб.

При реализации поставленной цели были решены две основные задачи:

- разработана конструкция шайбы, позволяющая ее нижней плоскости в определенные моменты находиться на поверхности дна независимо от направления изменения глубины под воздействием ВВ;
- разработан метод измерения, позволяющий фиксировать положение шайбы на стержне в любой момент времени.

Для решения первой задачи были изготовлены и испытаны различные варианты конструкции «самоподнимающейся» шайбы, которая может постоянно или кратковременно находиться на поверхности дна даже во время



Р и с . 2 . Основные варианты конструкции шайбы.

формы шайбы (рис.2, б), обеспечивающей ее подъем также и в результате прямого «подтекания» по нее потока влекомых наносов.

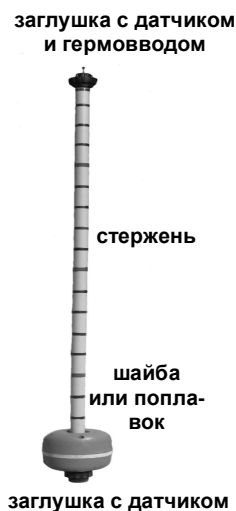
Перемещение шайбы происходит вдоль герметичного полого стержня, заполненного сухим воздухом при атмосферном давлении близком к нормальному. Положение шайбы на стержне рассчитывается по результатам измерения времени прохождения ультразвукового сигнала от датчика до отметки нижней поверхности шайбы и обратно при известной скорости его распространения в воздушной среде.

Действующий прототип прибора (рис.3) изготовлен в кабельном варианте и позволяет проводить измерения в ручном режиме путем считывания информации с ЖК экрана. Корпус прибора успешно прошел испытания на герметичность на глубинах до 15 м, а также на устойчивость к механическому воздействию при размещении в зоне разрушения штормовых волн. В данной версии питание прибора осуществляется от батареи 1X6LR61/9B и позволяет в ручном режиме произвести до 20000 отсчетов с точностью измерения ± 1 см в рабочем диапазоне температуры $0 - 40$ °С. Длина корпуса прототипа составляет 2,3 м и может быть увеличена до 12 м без потери точности измерений, которую планируется довести до значений ± 1 мм, что особенно актуально при измерении уровня моря. Разработана схема блока для автономного опроса датчика, считывания и обработки информации, накопления и передачи данных потребителю.

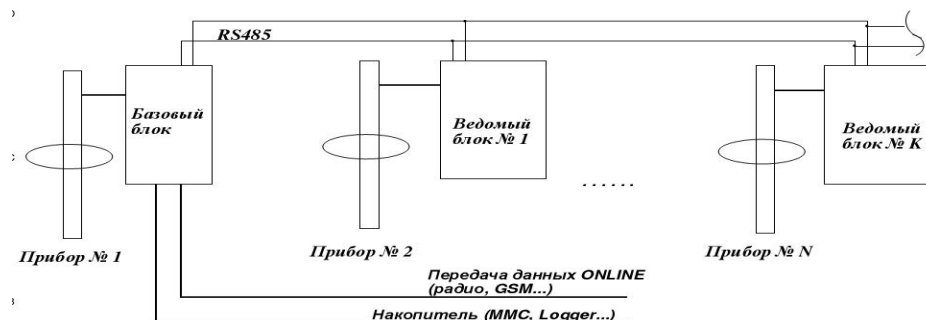
В настоящее время в рамках работ по изучению и кадастровой оценке пляжей Западного Крыма прибор используется в качестве электронной мерной рейки (ЭМР) [9] для проведения детального промера профиля ПБС в приурезовой зоне в диапазоне глубин $0 - 1,5$ м. В качестве мареографа прибор протестирован на причале ЭО МГИ НАН Украины в пгт.Кацивели. Полученный ход уровня совпадает с данными стационарного мареографа. Испытания прибора в каче-

уменьшения глубины. Достигается это в результате преобразования части энергии поступательного движения жидкости (горизонтальной компоненты вектора волнового потока) и турбулентных пульсаций скорости в подъемную силу, позволяющую шайбе отрываться и зависать над поверхностью дна на определенных стадиях волнового цикла.

По результатам проведенных испытаний наилучшие показатели достигнуты при использовании конструкции, в которой подъемная сила создается лопастями винта, приводимого во вращение ротором Савониуса (рис.2, а), и при использовании особой



Р и с . 3 . Внешний вид действующего прототипа прибора.



Р и с . 4 . Структурная схема проведения измерений, накопления и передачи данных при установке серии приборов.

стве волнографа производились как с причала, так и путем постановки на глубине 4 м в виде заякоренной вехи, конструкция которой разработана по принципу вертикального цилиндрического буя [10], что позволило минимизировать вертикальную и горизонтальную качку стержня даже при значительных высотах ВВ.

Расстановка серии приборов в зоне заплеска по схеме, аналогичной приводимой в [11], позволяет измерять не только деформации рельефа пляжа, но и фиксировать такие параметры потока, как скорость продвижения его передней части и высота нагона.

Учитывая инвариантность показаний прибора по отношению к параметрам окружающей среды, возможна установка на створе серии однотипных приборов с непрерывным охватом береговой зоны от границы максимального заплеска на суше до глубины замыкания (в иностранной литературе *depth of closure*) под водой (рис.4), включая зону разрушения волн. Постановка подобных экспериментов позволит получить уникальные данные о механизме переформирования рельефа БЗ под воздействием штормового волнения.

В заключение следует отметить следующее:

1. Разработанный прибор позволяет в одной точке проводить синхронные измерения высотных отметок поверхности дна, сложенной подвижными грунтами, и параметров волн непосредственно во время шторма.

2. Простая схема работы прибора, высокая точность измерений, надежность в эксплуатации, а так же незначительные затраты на изготовление и обслуживание, делают его наиболее перспективным для получения натуральных данных при исследовании литодинамических процессов в БЗ.

3. На базе прибора дополнительно разработаны автономный волнограф, мареограф и ЭМР, которые могут найти применение при выполнении стандартных гидрологических и промерных работ, а также при проведении мониторинговых исследований водных объектов всех типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Beach erosion monitoring. Results from BEACHMED-e / OpTIMAL Project* / Ed. By Enzo Pranzini & Lilian Wetzel.– Fiorentina: Nuova Grafica, 2008.– 231 p.
2. *Коровин В.П.* Океанологические наблюдения в прибрежной зоне. Учебное пособие.– СПб: РГГМУ, 2007.– 434 с.

3. *Peter D. Thorne, Daniel M. Hanes* A review of acoustic measurement of small-scale sediment processes // *Contin. Shelf Res.*— 2002.— v.22.— P.603-632.
4. *Uchiyama Y.* Hydrodynamics and associated morphological variations on an estuarine intertidal sand flat // *J. Coast. Res.*— 2005.— v.22.— P.230-243.
5. *Косьян Р.Д., Подымов И.С., Пыхов Н.В.* (Ред.) Динамические процессы береговой зоны моря.— М.: Научный мир, 2003.— 326 с.
6. <http://erlingsson.com/Sedimeter/Sensor.html>
7. <http://www.lindorm.com/products/sed2.php>
8. *Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях.*— М.: Гидрометеиздат, 1975.— 239 с.
9. *Гауский В.А., Гайский П.В.* Технологии измерения уровня моря // *Морской гидрофизический журнал.*— 2010.— № 4.— С.58-73.
10. *Берто Г.О.* Океанографические буи.— Л.: Судостроение, 1979.— 215 с.
11. *Чечик В.И., Геловани И.Л.* О методе измерения скорости течения и деформаций рельефа в зоне заплеска / *Проблемы изучения берегов Грузии.*— Тбилиси: Мецниерба, 1976.— 297 с.

Матеріал поступив в редакцію 05.08.2013 г.

АНОТАЦІЯ Проведено аналіз сучасних методів і приладів, що використовуються для вимірювання деформацій рельєфу берегової зони, які виникають під впливом штормового хвилювання. Описано нову методику, яка дозволяє проводити вимірювання розташування поверхні дна, що складається з рухомих ґрунтів, в будь-якому місці берегової зони безпосередньо під час шторму. Наведено опис діючого прототипу приладу для безперервного вимірювання розташування межі розділу двох середовищ різної щільності. Представлено результати використання даного приладу як електронної мірної рейки. Описано додаткові можливості застосування модифікованих варіантів приладу як хвилеграфа і мареографа.

ABSTRACT The analysis of modern methods and instruments used to measure the deformation of the relief of the coastal zone caused by the action of storm waves was carried out. A new technique that enables to measure the position of bottom surface, which consist of the moving soils, anywhere in the coastal zone directly in the storm was described. There was done a description of the working prototype of the device for the continuous measurement of the position of the interface between two substances with different densities. The results of the use of this device as an electronic measuring rod are presented. Additional possibilities of using modified versions of the instrument as a wave recorder and tide gauge were described.