

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ПРЕГРАД ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ*

В.К. Дебольский¹, И.И. Грицук^{1,2}, А.В. Остякова¹,
И.Н. Завьялов³, Н.К. Пономарев², Е.К. Синиченко²

¹Институт водных проблем Российской академии наук
ул. Губкина, 3, Москва, Россия, 119333

²Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

³Научно-образовательный центр УНПК МФТИ
*Институтский пер., 9, Долгопрудный,
Московская область, Россия, 141700*

Проведены лабораторные эксперименты деформаций подводных преград литологического генезиса при воздействии экстремальных волн. Получены соотношения, связывающие объемы деформаций подводной преграды с параметрами волнений и динамики течений.

Ключевые слова: подводные преграды литологического генезиса, стратифицированный волновой поток, экстремальные параметры волнения, обрушение подводной преграды, экспериментальные исследования.

На водных объектах в зависимости от режима регулирования, в особенности в местах значительных сбросов даже условно чистых вод, аккумулируются значительные объемы твердых осадков. Это возможно, например, в океане при прохождении экстремальной волны типа цунами, в устьях рек, при плотинных частях водохранилища и нижнего бьефа ГЭС и шельфе. Экстремальные воздействия волновых процессов на подводные преграды, в том числе естественного происхождения, и подводные части сооружений, возникают из-за появляющихся вторичных волн. При возникновении критических, экстремальных параметров волновых процессов могут достигаться условия, близкие к условиям потери устойчивости и разрушению подводных преград. Эти воздействия приписывались к литологической сейсмике. Ранее подобная фундаментальная проблема не ставилась, однако известны эти явления и их последствия, часто приводящие к катастрофам.

Поэтому исследование влияния волновых процессов и течений на изменение параметров подводных преград (объема и формы) является одной из важных задач исследования волновых процессов в целом. Задачи, поставленные в работе, касаются изучения, моделирования и прогнозирования процессов деформаций дна под влиянием волн. Согласно имеющимся публикациям [1; 2] аналога подобных исследований в мировой практике не обнаружено.

Анализ информационных источников в области волновых процессов, теории транспорта и деформаций донного рельефа показал, что лабораторные экспери-

* Работа проведена при поддержке РФФИ, проект № 13-05-41095-рго_а.

ментальные исследования влияния волн на подводные преграды, проведенные в гидравлическом канале циркуляционного действия с размываемым дном при волновых воздействиях различной интенсивности, а также теоретический анализ подтвердили предположение, что поставленная тема исследований и результаты экспериментов являются новыми. К настоящему времени известны только модели воздействия волнений на сооружения и береговые склоны.

В связи с этим проведены экспериментальные исследования проблемы, позволяющие оценить последствия экстремального воздействия волновых процессов на подводные преграды, в том числе литологического генезиса в реках, устьях, водохранилищах и шельфе. Исследования влияния волновых процессов на деформацию дна, в том числе подводной преграды литологического генезиса, в лабораторных условиях проводились впервые.

Методика лабораторных исследований. При разработке методики лабораторных исследований, соответствующих поставленным задачам, определены влияющие факторы и построена гидравлическая модель, удовлетворяющая теории подобия.

Особенностью модели является выбор материала наносов по характеристикам, подобным натурным, и выбор критериев моделирования волнового процесса. В качестве наносов использовался хорошо отсортированный люберецкий песок $d_{50} = 0,30$ мм.

Волны генерировались волнопродуктором, их параметры варьировались в следующих пределах: высота $h = 5—13$ см и длина $\lambda = 50—200$ см (рис. 1).

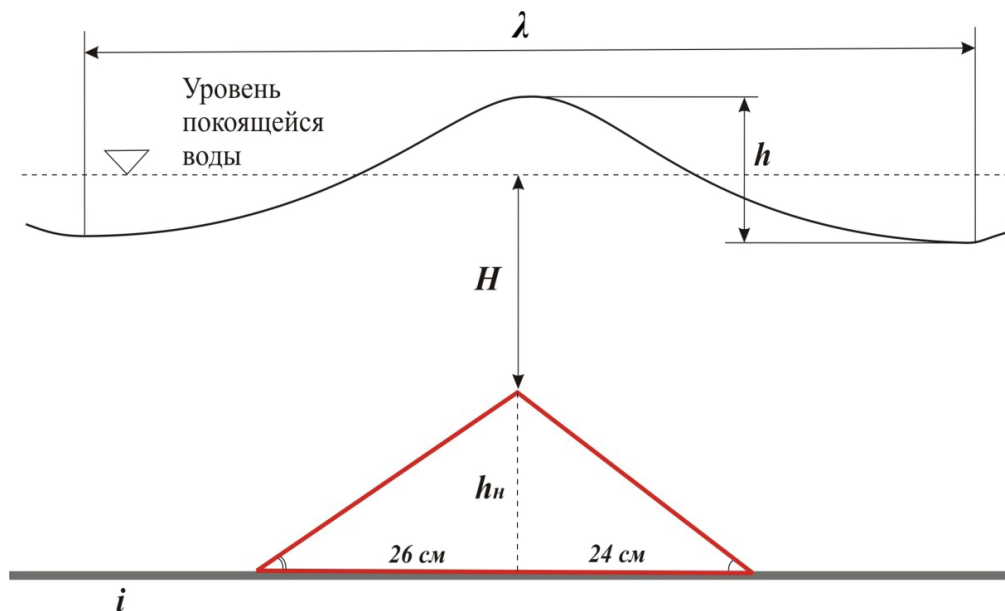


Рис. 1. Схема гидравлической модели

Лабораторные эксперименты проводились в лаборатории РУДН в открытом лабораторном канале прямоугольного очертания, имеющем волнопродуктор с изменяемым уклоном дна. Канал циркуляционного действия длиной — 16,0 м, ши-

риной 0,3 м, высотой стеклянных стенок 0,4 м. Измерения параметров течения и волнения (скорости, расхода воды, длины и высоты моделируемых волн) проводились типовым оборудованием. Скорости течения измерялись микровертушкой, дублировались электронным измерителем скоростей течения с применением батометров. Время прохождения волны фиксировалось видеокамерой, дублировалось секундомером. Волновые характеристики задавались на волнопродуктор через ноутбук при помощи лицензированной программы. Распространение волн фиксировалось с помощью видеосъемки.

Одновременно измерялась скорость потока, характеристики волн, время добегания волны до преграды, а также количество взвешенных и смытых с преграды материала наносов.

Проведение экспериментов. Эксперименты проводились при ровном дне с нулевым уклоном, равным 0,4% в сторону распространения волнения и уклоне 0,4% в сторону, противоположную распространению волнения.

Было проведено 27 экспериментов, из них 17 тестовых с целью установления оптимальной формы преграды различной высоты по отношению к глубине потока, создания пропуска одиночных волн различных высот и длин с помощью волнопродуктора и создания различных уклонов дна потока.

Критериями подобия являлись отношение высоты волны к ее длине и число Фруда

$$Fr = V^2/gH,$$

где V — скорость потока у вершины преграды, H — глубина потока над вершиной преграды.

На рис. 2 и 3 представлен общий вид гидравлической модели.

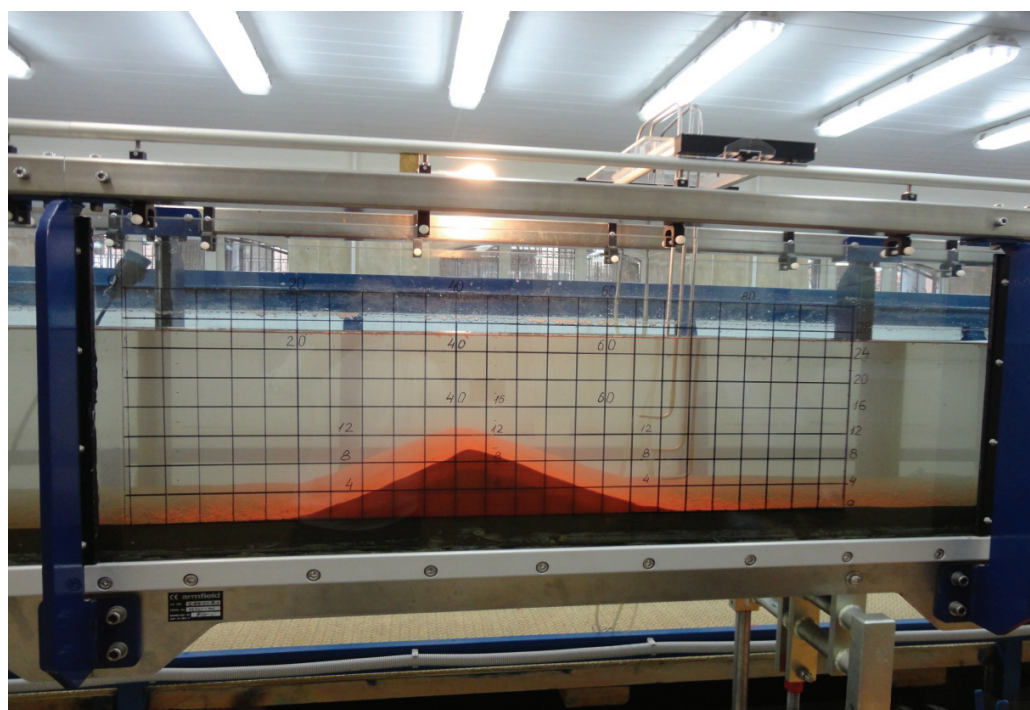


Рис. 2. Общий вид гидравлического лотка

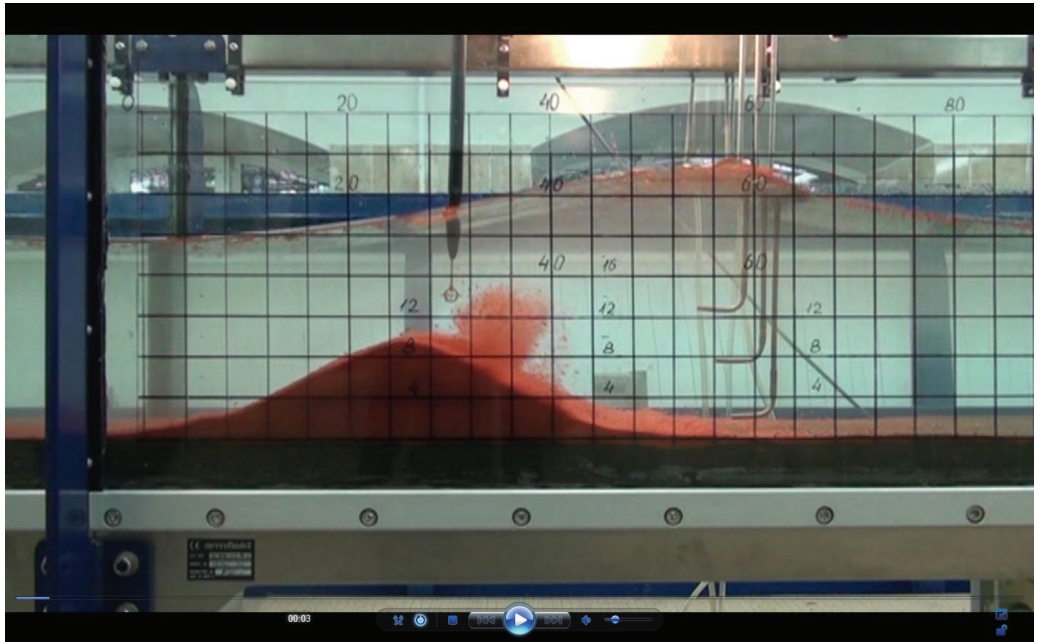


Рис. 3. Общий вид гидравлической модели

Обработка результатов измерений и анализ экспериментальных данных.

Данные измерений для каждого эксперимента, т.е. каждого процесса прохождения одиночной волны либо нескольких волн, записывались в табличном виде (таблица), удобном для дальнейшей обработки и анализа экспериментальных данных. В результате обработки и анализа экспериментальных данных построен график (рис. 4).

Таблица

Данные измерений

№	Вид волн	l, см	h, см	h_n в конце опыта, см	m осадка, г
<i>1 серия. Положительный уклон 0,4%</i>					
1	Одиночная волна	130,0	9,0	11,0	10,516
2	Одиночная волна	80	10	11	10,846
3	Несколько волн	130	9,5	11	1,621
4	Несколько волн	130	12,5	11	42,846
<i>2 серия. Уклон 0%</i>					
5	Одиночная волна	130	8	10,9	14,986
6	Несколько волн	85	8,5	10,7	1,431
7	Несколько волн	140	12	10,6	34,95
<i>3 серия. Отрицательный уклон</i>					
8	Одиночная волна	130	13	10,4	10,781
9	Несколько волн	60	8	10,4	2,568
10	Одиночная волна	130	12,5	10,1	31,158

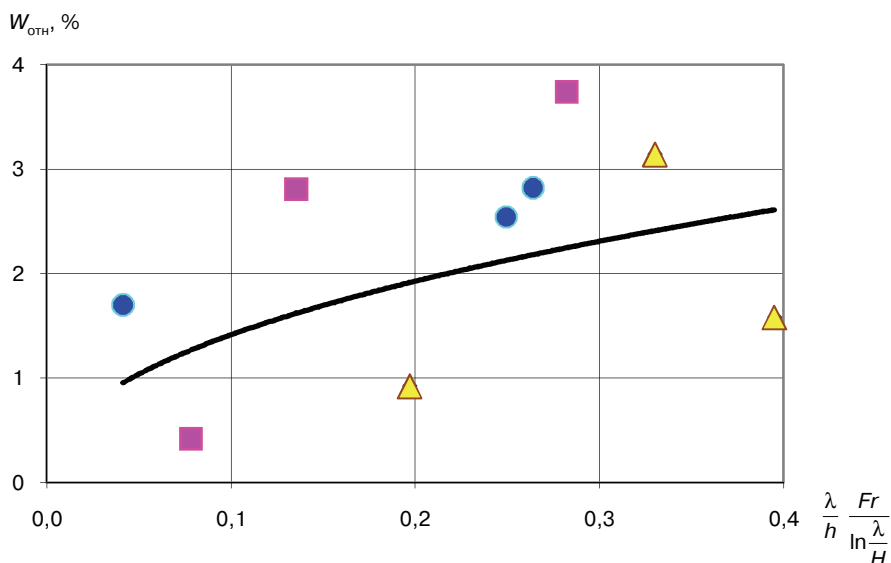


Рис. 4. График зависимости параметров течения от относительного объема осадка $W_{отн}$

По данным экспериментов построены аппроксимационные кривые степенного вида и установлены эмпирические зависимости для объема деформации подводной преграды от гидравлических параметров.

Относительный объем разрушения преграды под воздействием волны можно оценить соотношением

$$W_{отн} = 4 \cdot \left(\frac{\lambda}{h} \frac{Fr}{\ln \frac{\lambda}{H}} \right)^{1/2},$$

где H — глубина воды перед подводной преградой; $Fr = \frac{V^2}{gH_B}$, V — скорость над вершиной преграды; H_B — глубина течения над подводной преградой; λ — длина волны; h — высота волны.

Проведенные серии лабораторных экспериментов показали, что размыв в тыловой части преград на дне, в том числе литологического генезиса, происходит интенсивнее при возникновении волновых процессов, чем под влиянием естественных придонных течений.

Количество взвешенных наносов превышает количество сальтирующих наносов в 5—7 раз.

Серии экспериментов показали, что моделирование придонных и волновых процессов, наблюдаемых в устьевых областях рек и на морском шельфе, достаточно с большой долей достоверности описывают естественные процессы переформирования.

Результаты экспериментальных исследований экстремального воздействия волновых процессов на подводные преграды позволяют разработать физико-математическую модель трансформации подводных преград под воздействием волновых процессов. Ранее подобная фундаментальная проблема не ставилась, однако известны эти явления и их последствия, часто приводящие к катастрофам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04—82*. [SP 38.13330.2012 Nagruzki i vozdejstvija na gidrotekhnitheskie soorugenija (volnovye, ledovye i ot sudov) Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.06.04—82*.]
- [2] СН 92-60 Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега. [SN 92-60 Teknitheskie uslovija opredelenija volnovyh vozdejstvij na morskije i rethnye berega.]

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DESTRUCTION OF UNDERWATER BARRIERS UNDER THE INFLUENCE OF EXTREME WAVE PROCESSES

**V.K. Debolskiy¹, I.I. Gritsuk^{1,2}, A.V. Ostiakova¹,
I.N. Zav'yalov³, N.K. Ponomarev², E.K. Sinichenko²**

¹Water Problems Institute
Russian Academy of Science
Gubkina str., 3, Moscow, Russia, 119333

²Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

³Moscow Physics and Technology Institute

The laboratory experiments of the deformations of the underwater barriers at step of the extreme waves were conducted. Some relations connecting the volume of deformation of underwater obstacles with the wave parameters and flow dynamics parameters are obtained.

Key words: underwater obstacles of lithological genesis, wave stratified flow, the extreme wave parameters, the collapse of underwater obstacles, an experimental study.