

## Мобильные сооружения в береговой гидротехнике

*Евгений Горбатенко<sup>\*</sup>, Ирина Братасюк<sup>\*</sup>, Владимир Шаров<sup>\*\*</sup>*

<sup>\*</sup> Институт гидромеханики НАН Украины  
ул. Желябова, 8/4, Киев, Украина, 03680, e-mail: nairamdal92@yandex.ru  
<sup>\*\*</sup> ООО 5-й отряд гидротехнических работ  
ул. Электриков, 4, Киев, Украина, 04071, e-mail: podvodnik@bigmir.net

**Аннотация.** В статье научно обосновано и предложено применение мобильных сооружений в практике береговой гидротехники.

**Ключевые слова:** берегозащита, землечерпание, мобильные сооружения.

### ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа представлена в виде обзорно-постановочной статьи без детального изложения особенностей исследования гидродинамических процессов. «Отправной точкой» является фактор риска в части гидродинамики на акваториях Азовского и Чёрного морей. В силу плохо прогнозируемого и скачкообразно повышающегося уровня Мирового океана [1] требуется совершенствование берегозащиты. Примером необходимости принятия экстренных мер по защите от разрушения расположенных у уреза воды сооружений служит подъём уровня Каспийского моря.

Официальные нормативные документы [2], научные расчёты, эксперименты на гидродинамических стендах и работа сооружений в естественных условиях показывают высокую значимость даже незначительного повышения уровня воды. Так, увеличение заглубления гребня подводного волнолома на 5% (в натуре это

порядка 5 см.) при определённых условиях приводит к уменьшению коэффициента гашения волны до 10% и, как следствие, вызывает большие негативные изменения в литодинамике берега. Настоящая задача – быть готовым к новым проявлениям таких природных явлений.

Однако, например, простое повышение отметки гребня подводного волнолома «на упреждение» в силу причин экономического и экологического характера не рационально. Особого внимания заслуживает несовершенство нормативно-правовой базы и сложившаяся практика природопользования в береговой зоне.

В настоящей работе приведен обзор состояния берегозащиты на отдельных участках побережья в динамике последних лет, отмечены недостатки и предлагаются пути их устранения, сделана попытка уменьшить проблему путём применения нового вида берегозащитных сооружений, а именно – мобильной конструкции.

Как строительство, ремонт и реконструкция берегозащитных сооружений традиционной конструкции, так и монтаж-демонтаж мобильных сооружений сопряжён с необходимостью совершенствования производства подводно-технических работ, а внедрение их в практику предполагает выполнение комплекса научных исследований гидролитодинамических

процессов с целью разработки должных Рекомендаций по их созданию и использованию.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изначальной целью настоящей работы является формирование обзора состояния существующей берегозащиты с выявлением недостатков в её работе и определение видов сооружений, которые подлежат возможной модернизации. Конечная цель заключается в рассмотрении имеющихся научно-технических разработок и экспериментальных исследований по мобильным берегозащитным сооружениям, необходимых для составления программы решения проблемы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ БЕРЕГОЗАЩИТЫ

В порядке выборочного рекогносцировочного обследования объектов берегозащиты были выбраны два участка: один на черноморском, другой на азовском побережье. Первый располагается на так называемом «крылатом» мысе. На создание этого памятника природы потребовалось около пяти тысячи лет. Рассматриваемая береговая форма развивалась в естественных условиях, практически не нарушаемых техногенным вмешательством. Работы по инженерной защите участка береговой территории начались в 1973 году. Из ряда вариантов берегозащиты, предложенных Институтом гидромеханики АН Украины, заказчик выбрал самый капиталоемкий – в виде камненабросных бун, облицованных железобетонными плитами (Рис. 1).

Позитив в решении вопроса заключался в отсутствии необходимости в ближайшие несколько лет вести ремонтные работы и достаточно надёжная на тот период времени защита пляжа от размыва. Однако полностью была игнорирована предсказываемая учёными опасность разрушения прилегающей заповедной зоны.

Возведённые буны полного профиля перекрыли вдольбереговую поток наносов, поддерживающий существование прилегающей косы, и стали образовываться прорвы, меняться водный режим находящегося под её защитой заповедника. Кроме того, пляж в некоторых межбунных пространствах подвержен влиянию застойных зон в виде скопления водорослей (Рис. 2).

Положение осложнилось интенсивным размывом прилегающего незащищённого берега, что широко известно как явление «краевого эффекта», возникающего при перехвате сооружением вдоль берегового потока наносов. Хозяин берега стал многолик, да и былых финансовых средств не стало. Например, чего стоит опубликованное в интернете объявление: «Продаётся волнорез ...»!!! Это народное название бун, которые поселковый Совет распродал «в розницу»! По той же причине далее буны стали возводиться в виде каменной наброски без соблюдения норм по крупности. Первые несколько бун, возведённые «хозспособом», короткие, распластанного профиля. Этот, хотя и неофициальный, тип сооружения позволил обеспечить некоторую миграцию наносов и ослабить краевой эффект. При строительстве последующих бун этот позитивный элемент был утрачен. Рекогносцировочное обследование объекта проводилось ежегодно в течение четырёх лет. Кроме названных недостатков была установлена такая динамика процессов:

- камненабросные буны, облицованные железобетонными плитами имеют тенденцию к разрушению бетона и сползанию плит (Рис. 3);
- камненабросные буны без облицовки плитами проседают в грунт, а камень волновым потоком разносится по пляжу (Рис. 4).

Участок берегозащиты на азовском побережье был обследован в 2014 году. Здесь, кроме хаотично и часто безграмотно обустроенного крепления берега, выявлено наличие и достаточно хорошую работу грунтонаполненных оболочек из синтетической ткани (Рис. 5).



**Рис. 1.** Изначальный вид облицованной железобетонными плитами буны из набросанных камней  
**Fig. 1.** The initial view of the tiled concrete slabs groins of scribbled stones



**Рис. 2.** Засорённый водорослями пляж  
**Fig. 2.** Is clogged with algae beach



**Рис. 3.** Разрушение головной части буны  
**Fig. 3.** Destruction of the head of the groyne



**Рис. 4.** Засорение пляжа камнем  
**Fig. 4.** Clogging beach stone



**Рис. 5.** Крепление берега наполняемыми грунтом оболочками  
**Fig. 5.** Fixing the coast is filled with ground shells

Очевидно, что эти сооружения были возведены быстро и без участия мощной землеройной техники или плавсредств большого водоизмещения. Однако отсутствие взаимосвязи научного видения [3] и порочной практики берегозащиты породили здесь серьёзные проблемы.

Производство сопутствующих подводно-технических работ (устройство каменных постелей под камненабросные буны, разравнивание камня под облицовочные железобетонные плиты, водолазное обследование состояния сооружений и т.д.) значимо как в стоимостном выражении, так и во времени.

Не исключено, что выявленные недостатки берегозащиты на обследованных участках вызваны упомянутыми сложностями.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДЛЕЖАЩИХ МОДЕРНИЗАЦИИ

Мобильные конструкции можно использовать в виде бун,

струенаправляющих и защитных дамб, плотин, надводных и подводных подпорных стенок, для временного увеличения габаритов сооружений из традиционной конструкции [4].

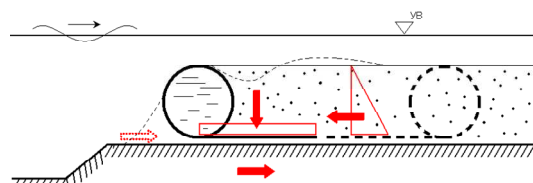
На побережье вблизи уреза воды располагаются отдельные инженерные сооружения и их защита от волнового потока имеет значение государственной важности. Например, можно предположить, что объект, находящийся под защитой бун, в настоящее время находится в безопасности, но в случае сверхрасчётного повышения уровня моря потребуются принятие экстренных мер по недопущению размыва грунта у его основания.

Особо широкие возможности и целесообразность использования мобильных сооружений представляются при производстве подводных землечерпательных работ [5]. Это морские судоходные каналы и акватории для отстоя судов, каналы водозаборных сооружений, траншеи под кабели или трубопроводы различного назначения, а также котлованы под гидросооружения. Во всех перечисленных случаях существует

проблема локализации (оконтуривание) свалок грунта и крепления откосов выемок и насыпей. Например, при строительстве или зачистке морского канала тысячи кубометров грунта часто по предписанию рыбнадзора надо вывезти на отдалённые акватории (нельзя засорять нерестилища и подводную флору). Но и располагать подводные свалки грунта непосредственно у подводных выемок нельзя из-за вероятности их сползания под воздействием волн и течений.

Существует ещё одно направление применения мобильных сооружений – перманентное формирование генерализованной линии берега посредством искусственного формирования таких макроформ как, например, коса или томболо. При этом необходима цикличная перестановка временных нанососорегулирующих сооружений, а осуществление такой технологии возможно только посредством мобильных конструкций.

Когда вопрос касается защиты прибрежных природно-парковых зон – решение в пользу временно используемых мобильных сооружений безальтернативно. В условиях катастрофических паводков или нагонов требуется защита не только берега от размыва, а и территорий от временного затопления, сопровождающегося интенсивным отложением наносов и мусора.



**Рис. 6.** Схема работы водонаполненной оболочки

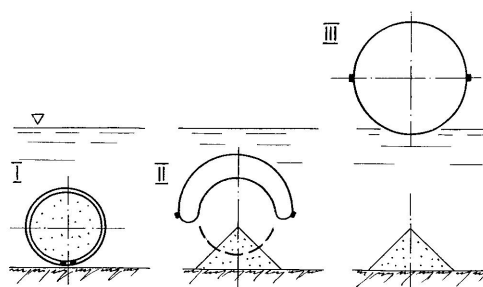
**Fig. 6.** Scheme of the water-filled shell

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ МОБИЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В Институте гидромеханики НАН Украины разработан ряд конструкций мобильных наносорегулирующих сооружений (МОНАРС), три из которых составляют основу решения поставленных выше задач.

Первое [6] – представляет собой цилиндрическую водовоздухонаполняемую оболочку из мягкого синтетического материала. По длине оболочки прикреплён фартук-анкер. Оболочка оснащена патрубками для заполнения её водой и продувки воздухом, а также якорными устройствами (Рис. 6). Сооружение может работать как подпорная стенка, когда обратная засыпка располагается на фартук-анкере.

Демонтаж сооружения производится путём продувки оболочки воздухом и тогда та всплывает на поверхность водоёма. Особенностью расчёта конструкции является определение расчётной ширины фар тука-анкера, достаточной большой для обеспечения устойчивости сооружения под воздействием активного давления грунта обратной засыпки (в рабочем положении) и достаточно малой для возможности извлечения его из-под обратной засыпки под воздействием подъёмной силы продутой воздухом оболочки (при демонтаже). При этом следует учитывать вид грунта, величину слоя обратной засыпки и форму её поверхности.



**Рис. 7.** Схема демонтажа грунтонаполняемой оболочки

**Fig. 7.** Driving dismantling inflatable ground shell

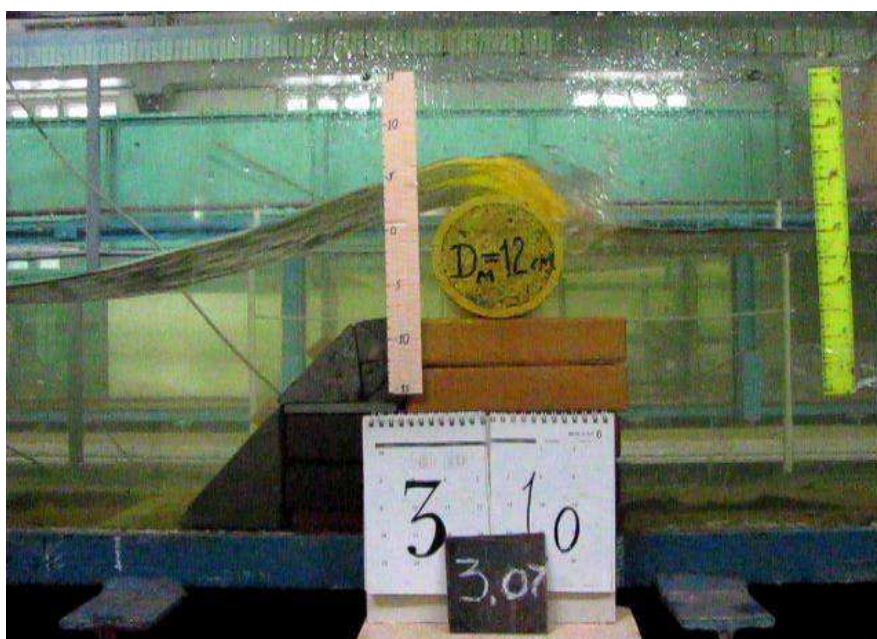
Такое мобильное сооружение особо приемлемо при ремонте подводных трубопроводов или кабелей [7], когда заносимость котлована больше производительности используемых средств малой механизации (гидромонитора или грунтососа), а также на мелкой воде в качестве струенаправляющей дамбы. В таком варианте сооружение прошло промышленную проверку в условиях водохранилища на строительном объекте отряда подводных и гидротехнических работ.

Второе представляет собой цилиндрическую грунтонаполняемую двухполостную оболочку из мягкого синтетического материала [8]. Путём складывания однополостной оболочки специальным образом (Рис. 7) получается две полости: внутренняя – грунтонаполняемая, и наружная – для продувки воздухом при демонтаже. Кромки внутренней оболочки скрепляются легкораскрывающимся швом «парашютного» типа. Внутренняя полость этого типа сооружения может заполняться, например, песком посредством грунтососа. Область применения достаточно широкая. Третье – представляет собой вертикальный

экран из синтетической плёнки, оснащённый поплавками и специальным якорным устройством [9]. Его назначение – защита акваторий от взвеси при производстве землечерпательных работ или отсыпки грунта в воду. Область применения ограничена условием наличия течений.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Конечным результатом исследований является оценка работоспособности отдельных видов и типов МОНАРС в сочетании с технологией установки в проектное положение, передислокации и демонтажа. Так, например, в волновом лотке исследован вариант применения мобильной конструкции для повышения отметки гребня подводного волнолома. В натуральных величинах глубина наполнения лотка составляла 0,3 м, ширина гребня модели волнолома варьировалась от 0,02 м до 0,70 м, а заглубление гребня - от -0,04 м до +0,09 м. Величина заглубления сокращалась путём укладки на гребень волнолома одиночных и парных цилиндрических оболочек разного

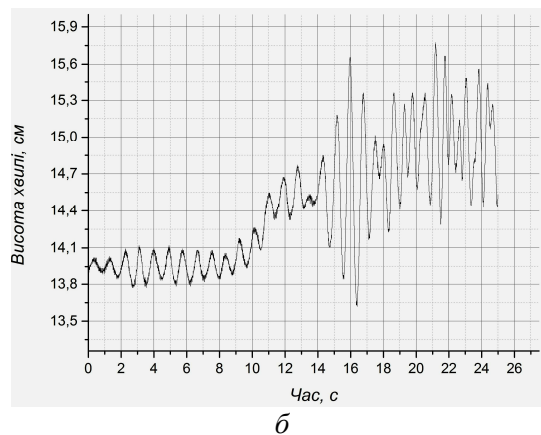
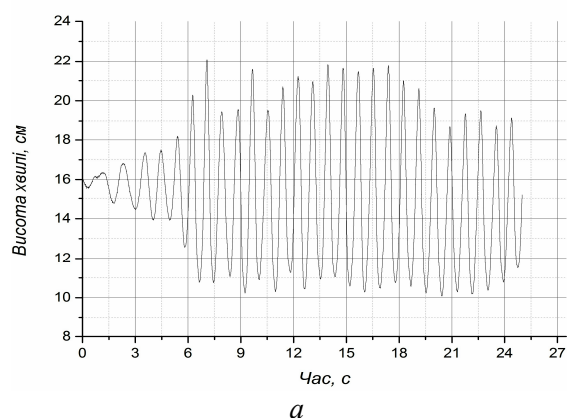


**Рис. 8.** Вид модели в волновом лотке

**Fig. 8.** View the model in the wave tray

диаметра (Рис. 8). Фронтальный откос придонной части волнолома был выполнен

множество условно фиксированных параметров (Const.) и ряд независимых



**Рис. 9.** Пример фиксации параметров волны: *a* – перед волноломом; *б* – после волнолома  
**Fig. 9.** An example of fixing parameters of the wave: *a* – Prior to breakwater; *б* – Post of breakwater

под углом  $45^\circ$ , а тыльная грань – вертикальной. Волны продуцировались с периодом от 0,7 с. до 1,5 с. и относительной длиной волны от 7 до 70. Пример характера прохождения волн над волноломом представлен на Рис. 9. Всего выполнено 112 опытов.

Процесс взаимодействия волн с затопленным волноломом относится к категории сложных, что порождается такими физическими явлениями как отражение, трансформация и диссипация энергии.

Наиболее важной областью является мористый край волнолома, где набегающие волны, частично отразившись от сооружения, вызывают взаимодействия нелинейного характера: генерацию гармоник, флуктуацию, возникновение вихрей. При сходе трансформированной волны с препятствия возникает процесс отделения волн высших частот от волн основной частоты. Этот процесс приводит к образованию широкого энергетического спектра, уменьшение высоты и изменение величины периода волн. При исследовании повышения уровня гребня подводного волнолома посредством пары цилиндрических оболочек имеет место

переменных. Отдельные варианты сочетания последних позволили выявить исключительно высокую степень диссипации энергии волн в виде эффекта всплеска при встрече набегающей и отражённой волны (Рис. 10).

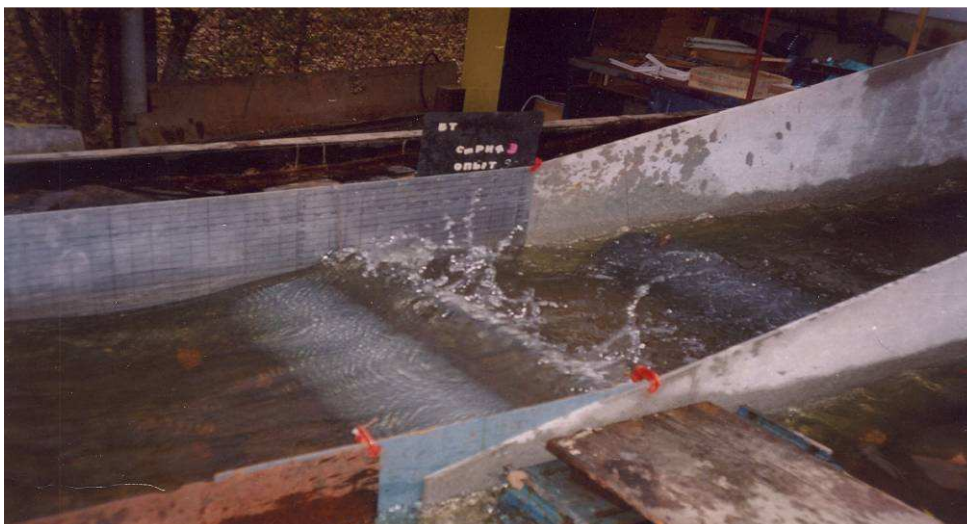
Выявлено, что ввиду невозможности точного описания полного спектра колебания разбитых волн линейными математическими моделями определение величины отражения волн можно ориентировочно установить посредством эмпирического соотношения [10]

$$K_R = 0,25 \exp(-0,75 z/d),$$

что при планировании эксперимента служило определённым ориентиром.

Оценка работоспособности производилась в сопоставлении с сооружениями традиционной конструкции из бетонных блоков. Таким образом, на основании подтверждённых экспериментом данных можно сделать вывод, что геометрическая характеристика волнолома (в т.ч. цилиндрического сечения) и локальная топография дна являются основной причиной трансформации и «гашения» энергии волн.





**Рис. 10.** Эффект экстремальной диссипации энергии волны  
**Fig. 10.** The effect of extreme wave energy dissipation

## ВЫВОДЫ

Для решения поставленной задачи совершенствования берегозащиты как в плане природоохраны в целом, так и в части производства подводно-технических работ при монтаже-демонтаже МОНАРС следует отметить.

1. Берегозащита в сочетании с практикой природопользования нуждаются в усилении государственного надзора и организации научно-технический мониторинга состояния литодинамических систем и сооружений.

2. Необходимо развитие научного направления по конструированию и разработке технологических схем использования мобильных наносорегулирующих сооружений.

3. Сопутствующие подводно-технические работы должны совершенствоваться в рациональности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карлин Л.Н., Ванкевич Р.Е., Тумановская С.М. и др., 2008. Гидрометеорологические риски. Монография СПб: Изд.РГГМУ, 282.
2. Лызлов И.А., 1962. Морские подводные берегоукрепительные волноломы. Транспортное строительство, 5-18.

3. Хомицкий В.В., 1983. Природоохранные аспекты береговой гидротехники. Наук. Думка, Киев, 276.
4. Сергеев Б.И., 1998. Облегченные гидротехнические сооружения. Арт-графика. Севастополь, 324.
5. Мирошниченко В.Г., 1982. Эксплуатация морских каналов. Москва, Транспорт, 136.
6. А.с. 1145087 СССР, Устройство для защиты подводной траншеи от занесения наносами. Горбатенко Е.Г., Хомицкий В.В., Сокольников Ю.Н., Кортиков И.А.
7. Горбатенко Е.Г., 1993. Автореферат канд. диссертации. СПб, 24 с.
8. А.с. 1351988 СССР, Подводное сооружение, способ его монтажа и демонтажа. Горбатенко Е.Г.
9. А.с. 1314932 СССР. Ограждающее устройство подводных разработок грунта. Хомицкий В.В., Горбатенко Е.Г., Сокольников Ю.Н., Ермоленко В.И., Урецкий И.И.
10. Bleck M., Oumeraci H., 2002. Hydraulic performance of artificial reefs: global and local description. Proceedings International Conference Cjfstal Engineering, Cardiff, Wales, Vol. 2, 1778-1790.

## REFERENCES

1. Karlin L.N., Vankevich R.E., Tumanovskaja S.M. et al., 2008. Monografija SPb: Izd.RGGMU, 282.

2. **Lyzlov I.A., 1962.** Morskie podvodnye beregoukrepitel'nye volnolomy. Transportnoe stroitel'stvo, 5-18.
3. **Homickii V.V., 1983.** Prirodoohrannye aspekty beregovoi gidrotehniki. Naukova dumka. Kyiv, 276.
4. **Sergeev B.I., 1998.** Oblegchyonnye gidrotehnicheskie sooruzhenija. Art-grafika. Sevastopol', 324.
5. **Miroshnichenko V.G., 1982.** Yekspluatacija morskikh kanalov. Moscow, Transport Publ., 136.
6. **A.s. 1145087 SSSR,** Ustroistvo dlja zashity podvodnoi transhei ot zanesenija nanosami. Gorbatenko E.G., Homickii V.V., Sokol'nikov YU.N., Kortikov I.A.
7. **Gorbatenko E.G., 1993.** Avtoreferat kand. dissertacii. SPb, 24.
8. **A.s. 1351988 SSSR.** Podvodnoe sooruzhenie, sposob ego montazha i demontazha. Gorbatenko E.G.
9. **A.s. 1314932 SSSR.** Ograzhdayushee ustroistvo podvodnyh razrabotok grunta. Homickii V.V., Gorbatenko E.G., Sokol'nikov YU.N., Ermolenko V.I., Ureckii I.I.
10. **Bleck M., Oumeraci H., 2002.** Hydraulic performance of artificial reefs: global and local description. Proceedings International Conference Cjfstal Engineering, Cardiff, Wales, Vol. 2, 1778-1790.

MOBILE BUILDING IS IN COASTAL  
HYDRAULIC ENGINEERING

*Eugene Gorbatenko<sup>\*</sup>, Irina Bratasyuk<sup>\*</sup>,  
Vladimir Sharov<sup>\*\*</sup>*

<sup>\*</sup>Institute of Hydromechanics of NAS of Ukraine  
Street Zhelyabova, 8/4, Kyiv, Ukraine, 03680,  
e-mail:nairamdal92@yandex.ru

<sup>\*\*</sup>LLC "5th detachment of hydraulic works"  
Street Electricians, 4, Kyiv, Ukraine, 04071,  
e-mail: podvodnik@bigmir.net

**Summary.** This work is presented in the form of surveillance and staged article without detailed exposition features study hydrodynamic processes because of poor forecast and abruptly rising level of the oceans requires better coastal protection. The purpose of work is to review the available scientific and technical developments and experimental research on mobile sea defences to deal with. For example, built in the Black and Azov Seas of scribbled stones and covered with concrete slabs bun, protecting the coast from wave flow, shows the shortcomings of traditional fixed structures. The author proposes a mobile waterworks of the shells that are filled with soil, which can be fast enough to install and remove as needed. In order to improve the protection of the coast is necessary to develop scientific direction for the design and development of technological schemes governing the use of mobile sediment structures.

**Key words:** coastal protection, dredging, mobile buildings.