

### ЗАЩИТА ОТ БЕРЕГОВОЙ ЭРОЗИИ МОРСКИХ ПОРТОВ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

*Курмангалиева Аида Робертовна*, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: kraida@yandex.ru

При проектировании, строительстве и эксплуатации морских гидротехнических сооружений необходимо обеспечить прочность и устойчивость сооружения с учетом наиболее неблагоприятного воздействия волновой эрозии. Динамика размыва грунта под действием волнения определяется формой и размерами сооружения в плане и по высоте, соотношениями между размерами сооружения, параметрами волн и глубиной воды. Шельф дагестанского участка западной зоны Каспия узкий, имеет неровную поверхность с системой асимметричных линейно вытянутых гряд и возвышенностей из выходов коренных пород. Анализ природных особенностей акватории и донных отложений позволил обоснованно предложить оптимальные варианты применения и размещения оградительных устройств – волноломов – при проектировании двух крупных морских портов в районе городов Дербента и Махачкалы.

**Ключевые слова:** волновая эрозия, грядовый рельеф, алевроит, пневматический волнолом, эпюра давления, берма

### COASTAL EROSION PROTECTION SEA PORTS WEST COAST OF THE CASPIAN SEA

*Kurmangaliyeva Aida R.*, C.Sc. in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: kraida@yandex.ru

Design, construction and operation of marine hydrotechnical structures are made with ensuring the strength and stability of structures, taking into account the most unfavorable effect of wave erosion. The dynamics of erosion of soil under the influence of waves is determined by the shape and size of the structure in terms of and height, the relationship between the dimensions of the structure, the parameters of the waves and the depth of the water. The shelf of the Dagestan section of the western zone of the Caspian Sea is narrow, has an uneven surface with a system of asymmetric linearly extended ridges and elevations from the outcrops of bedrock. Analysis of the natural features of the water area and bottom sediments made it possible to suggest the optimal options for the use and placement of shielding devices – breakwaters – when designing two large seaports in the vicinity of the cities Derbent and Makhachkala.

**Keywords:** wave erosion, ridge relief, Alevite, pneumatic breakwater, pressure diagram, berm

**Обзор проблемы.** Основой развития партнерства в Каспийском регионе служат российские каспийские морские порты, расположенные в г. Астрахани, с. Оля и г. Махачкале. Конкурентоспособность нашего государства в увеличении грузооборота через Иран обеспечит укрепление его геополитического и политического присутствия в Каспийском регионе, развитие устойчивых экономических и культурных связей с Ираном, Индией и странами Персидского залива.

В целях реализации Стратегии развития коридора «Север – Юг» предусмотрены модернизация и перепрофилирование существующих портовых мощностей и строительство двух новых (грузового и пассажирского) морских портов (терминалов) на западном побережье Каспия, в Махачкале и Дербенте [12].

Для морских портов одной из главных проблем является защита их акваторий от проникновения крупных волн. Сооружения, отделенные от берега называются волноломами. Сложности возникают при строительстве портов на открытых побережьях, где защиту от волнения и заносов приходится обеспечивать искусственными ограждающими сооружениями [1].

Придонные течения различной природы в зависимости от направления и величины скорости и характеристик донного грунта могут вызывать размыв поверхности дна, образуя промоины, воронки, борозды, подводные долины, котловины. Динамика размыва грунта под действием волнения определяется формой и размерами сооружения в плане и по высоте, соотношениями между размерами сооружения, параметрами волн и глубиной воды [2].

**Методы защиты от береговой эрозии.** Подводные волноломы задерживают и сохраняют в пространстве между волноломом и берегом наносной материал, забрасываемый штормовым волнением со стороны моря на огражденную защищенную акваторию. Эффективность действия волнолома зависит от величины гребня. В строительстве применяются гравитационные и набросные подводные волноломы [5].

Подводные волноломы оказывают положительное воздействие только в хорошо просчитанных ситуациях. Часто высокие штормовые волны ими не гасятся. В ряде случаев подводные волноломы способствуют образованию ныряющего буруна. Мористее волнолома может произойти быстрое размывание подводного склона, из-за нарушения продольной и поперечной структуры вдоль берегового потока наносов [15].

Пневматический волнолом применяется для ограждения от волн входов в морские порты, участков портостроительных работ в открытом море для формирования зон, свободных ото льда.

Конструкция пневматических волноломов проста (рис. 1). В перфорированную пластиковую трубу, проложенную по дну, компрессором нагнетается либо воздух, либо вода. Струи пузырьков или воды успешно гасят небольшие волны. Волнолом состоит из воздушнонагнетающей установки, ресивера, подводящего (магистрального) воздуховода и рабочей трубы.

Выделяют три основных фактора, воздействующих на волны: а) пузырьки воздуха, всплывающие к свободной поверхности; б) восходящий поток воды, увлекаемый воздушными пузырьками; в) расходящееся в обе стороны от ограждения поверхностное течение жидкости.

Особенности проектирования пневматического волнолома сводятся к определению расхода воздуха, необходимого для гашения волн. Диаметр перфорации труб рекомендуется принимать в пределах  $d$  4–8 мм при шаге 100–400 мм [10].

Основными достоинствами пневматических волноломов являются малая строительная стоимость сооружения, почти не зависящая от глубины и качества грунта дна; быстрота возведения; возможность пропуска судов над ограждением во время его эксплуатации.

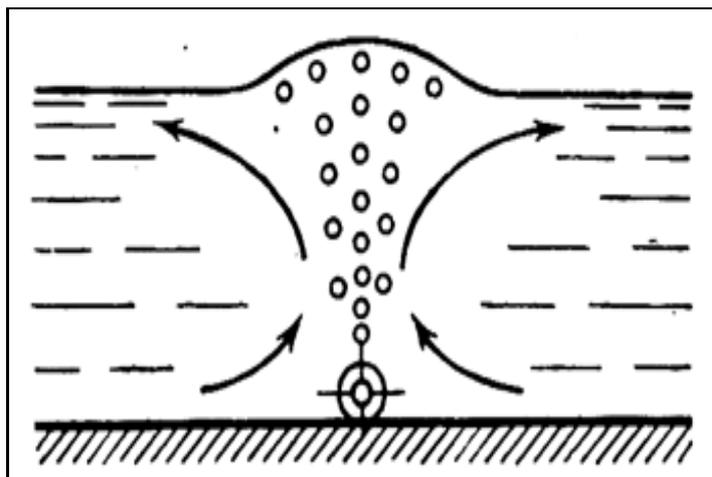


Рис. 1. Поперечный разрез пневматического волнолома [10]

К недостаткам относятся значительные эксплуатационные расходы, связанные с работой мощных воздухоманетающих установок; зависимость успешного действия ограждения от работы машин, недостаточная эффективность гашения длинных и пологих волн.

**Природные условия.** Шельф Среднего Каспия на западе узкий, ограничен выраженной бровкой в интервале отметок от минус 100 до минус 75–65 м, имеет неровную поверхность с системой асимметричных линейно вытянутых гряд и возвышенностей из выходов коренных пород. На дне отмечаются протяженные ступенчатые перегибы – следы древних береговых линий. Представляя собой почти выровненную слабо наклонную равнину, шельф осложняется небольшими впадинами и поднятиями.

Древние долины и русла Палеокумы и Палеотерека на широте г. Махачкалы сливаются, образуя крупную дельту. В современном рельефе она отражается наличием многочисленных разнонаправленных ложбин, разделенных банками, косами и барами, вытянутых цепочкой.

От Махачкалы до Дербента грядовый рельеф шельфа выполнен отложениями нижней известковой свиты верхнего сармата (верхнего миоцена). Гряды высотой 1,5–2 м очерчивают северо-восточное крыло Махачкалинской складки. За поясом гряд в море располагается пологая впадина с глубинами 14–16 м. Подводные гряды высотой до 6,8 м появляются вновь к югу от устья Манас-озень [9].

Ширина прибрежной подводной аккумулятивной равнины достигает 1,5 км; ширина внутренней зоны грядового рельефа достигает 750 м при ширине отдельных гряд 10–15 м. Глубины между грядами 12–15 м, высота их до 6 м.

Западное побережье располагается в полосе умеренно-теплого климата. Большую часть года над морем дуют ветра СЗ, С, СВ и ЮВ направлений со средней скоростью 5–6 м/с. Сильные штормовые ветры наблюдаются с октября по апрель. На границе с сушей возникают местные ветры: моряна и бриз. Ветра вызывают дрейфовые и стоковые течения.

Водный баланс водоема определяется речным стоком, атмосферными осадками и испарением. На западном побережье годовое количество осадков составляет 300–400 мм, испарение – 910 мм. Льдообразование у западного побережья возможно в феврале, очищение – в марте – апреле [7].

Гидродинамика водоема тесно связана с рельефом дна, направлением и скоростью ветра и стоком рек. Течения в верхних слоях воды формируются ветрами ЮВ и СЗ направлений. Глубинные перемещения воды определяются неравномерным распределением плотности. Скорости течений на Среднем Каспии составляют 30–100 см/с. Волнения здесь сильные, могут достигать 6 баллов; в шторм высота волн поднимается до 7–8 м.

Уровень моря испытывает колебания различного характера. Стоннонагонные явления редко превышают 1,0 м. Сейши с периодом колебаний от 10–40 мин до 12 ч отличаются амплитудой до 70 см. Среднегодовое изменение уровня поверхности составляет 34 см [7]. Современная базисная отметка моря – минус 28,0 мБС. Среднегодовая соленость воды в Среднем Каспии изменяется от 12,5 до 13 промилле с незначительными колебаниями по глубине.

Современный Каспий пребывает в регрессивной стадии. Общие колебания уровня воды в нем за весь инструментальный период наблюдений составили 4,0 м. В прибрежных районах Дагестана в результате затопления, подтопления и волновой эрозии были неоднократно разрушены промышленные и рекреационные сооружения [3].

Для современного Каспия характерны донные отложения в виде разнообразных песков и алевритов и биогенных осадков (ракушечник), образующих обширные скопления на западном шельфе [8].

В дагестанской подобласти западного шельфа установлено закономерное увеличение мощности новокаспийских образований в центральной части и уменьшение к береговой зоне. Нулевые мощности связаны с повышением гидродинамической активности в этой зоне. В результате на поверхность дна выходят более древние горизонты верхнечетвертичных осадков.

Новокаспийские образования представлены мелкоалевритовыми слабоизвестковыми илами серого и темно-серого цвета с содержанием  $\text{CaCO}_3$  до 13 %, переслаивающимися со слабоизвестковыми алевритово-глинистыми и глинистыми илами и крупным алевритом [8].

Мангышлакские отложения представлены переслаивающимися глинистыми и алевритово-глинистыми плотными буровато-желтыми и серовато-бурыми слабоизвестковыми илами, мощность прослоев которых в среднем 1–2 см. В верхней части материкового склона осадки становятся более тонкозернистыми, мощности прослоев возрастают, исчезает крупный алеврит [13].

Отложения дагестанского горизонта представлены тонкозернистыми слабокарбонатными глинистыми илами серовато-коричневого и коричневого цвета. Колебание карбонатности составляет 8–23 %. Отмечается присутствие хорошо окатанной гальки и гравия карбонатных пород [14].

**Расчетно-методическая часть исследования.** Лабораторными и натурными исследованиями подводных волноломов установлено, что при недостаточном весе их подвижки всегда направлены в сторону моря. Решающим является не лобовое воздействие надвигающейся волны при подходе ее гребня, а давление на береговую грань и подошву волнолома при подходе ложбины волны. Самым неблагоприятным считается момент времени, когда подошва волны расположена у передней наклонной грани волнолома, и через гребень его происходит перелив воды в пространство за волноломом [4].

Для расчетов нагрузки на подводный волнолом приняты следующие исходные данные: высота волны  $h = 8\text{ м}$ , средняя длина волны  $\bar{\lambda} = 40\text{ м}$ , уклон дна  $i = 0,05$ , глубина от расчетного уровня поверхности воды до дна  $d = 12\text{ м}$ ,

глубина до волнолома  $z_1 = 3$  м, плотность воды  $\rho = 1,013$  т/м<sup>3</sup>, плотность бетона  $\rho_b = 2,2$  т/м<sup>3</sup>, средний период волны  $T = 15,75$  с.

Максимальные значения горизонтальной  $P_x$  и вертикальных  $P_z$  и  $P_c$ , кН/м, проекций равнодействующей нагрузки волн на подводный волнолом принимают по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давления (рис. 2). При этом давление  $p$ , кПа, определяется в зависимости от глубины  $z$  и с учетом уклона дна  $i$ .

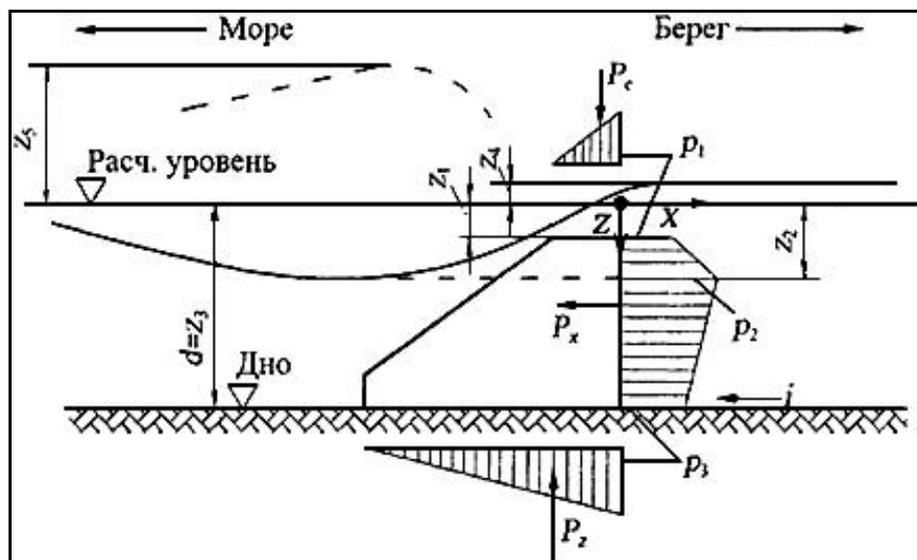


Рис. 2. Эпюры волнового давления на подводный волнолом [11]

Расчетные параметры нагрузки на сооружение определены в соответствии с положениями нормативных документов [10, 11]:

- давление перед волноломом и у его подошвы,  $p = 10,8$  кПа;
- максимальная придонная скорость воды перед берегоукрепительным сооружением,  $V_{b,max} = 1,82$  м/с;
- максимальная придонная скорость воды над поверхностью бермы,  $V_{f,max} = 1,55$  м/с;
- вертикальная нагрузка от прибойных волн,  $P_c = 5,4$  кН/м;
- взвешивающая нагрузка на подошву,  $P_z = 37,8$  кН/м;
- полное горизонтальное сдвигающее волновое давление  $P_x = 75,6$  кН/м.

Подводный волнолом должен иметь ширину не менее 5 м, длину – 15 м и минимальную высоту – 7 м, чтобы не опрокинуться. Для надежной защиты акватории порта таких волноломов следует установить два. Устойчивость гравитационных волноломов, сооружаемых на размываемых (песчаных) грунтах, обеспечивается сооружением искусственной постели с защитным слоем из камня или берменных плит. Толщина постели должна быть не менее 1,0 м [4].

Интересным решением является запатентованное устройство для защиты береговой зоны от размыва за счет рефракции волн на берегу и рассеивания энергии волн в удалении от него. Конструкция обладает гидротехнической стабильностью, простотой исполнения, эффективно гасит волны и защищает береговую зону от размыва [6].

Сооружение представляет собой подводный волнолом из бетонных плит с каменным ядром и пластиковой перфорированной трубой, прокладываемой по дну между берегом и подводным волноломом, параллельно ему. Перфорированная труба соединена подводным воздуховодом с воздухонагнетающей установкой на берегу. Волнолом и труба размещаются на расстоянии, равном не более половины длины волны, образовавшейся после прохождения над подводным волноломом, в начале прибойной зоны [15].

#### Выводы и рекомендации.

1. Выбор типа оградительного сооружения (волнолома) зависит от высоты, длины волны и глубины воды участка акватории.
2. Расчетные параметры подводного волнолома у дагестанского побережья составляют  $15 \times 4 \times 7$  м. В целях увеличения надежности защиты акватории порта, следует установить два таких волнолома. Для обеспечения устойчивости гравитационного волнолома, сооружаемого на размываемых грунтах, рекомендуется предусмотреть искусственное основание из камня или бетонных плит.
3. Предлагается рассмотреть комбинированную конструкцию из подводного волнолома, который гасит волны частично, но делает их короче, в сочетании с пневматическим волноломом, хорошо гасящим короткие волны.

#### Список литературы

1. Альхименко А. И. Гидротехнические сооружения морских портов : учебное пособие / А. И. Альхименко и другие. – СПб. : Лань, 2014. – 427 с.
2. Беляев Н. Д. Выбор мероприятий по защите от размыва оснований гравитационных платформ для освоения шельфа / Н. Д. Беляев, В. В. Лебедев, И. С. Нуднер, К. К. Семенов, Д. И. Щемелин // Magazine of Civil Engineering. – 2015. – № 3. – С. 79–109.
3. Гаджиев М. Г. О влиянии уровня Каспия на величину площади прибрежных территорий / М. Г. Гаджиев // Вестник Дагестанского научного центра. – 2003. – № 15. – С. 75–81.
4. Ляпичев Ю. П. Гидротехнические сооружения / Ю. П. Ляпичев. – Москва : РУДН, 2008. – 302 с.
5. Морские порты : учебник / Б. Ф. Горюнов, Ф. М. Шихие, П. С. Никеров. – 2-е изд. – Москва : Транспорт, 1979. – 368 с.
6. Патент № 162190 U1 (РФ). Устройство для защиты береговой зоны от размыва / Хадла Г. М., Сапожников А. И. – Опубл. 27.05.2016. – БИ № 15, 2016.
7. Свиточ А. А. Большой Каспий: строение и история развития / А. А. Свиточ. – Москва : МГУ, 2014. – 272 с.
8. Скорнякова Н. С. Геологическое строение и современные осадки склона западного побережья средней части Каспийского моря / Н. С. Скорнякова // Геологическое строение подводного склона каспийского моря. – Москва : АН СССР, 1962. – 249 с.
9. Соловьев В. Ф. Основные черты рельефа и геологической структуры дна Среднего и Южного Каспия / В. Ф. Соловьев, Л. С. Кулакова, Л. И. Лебедев, Е. Г. Маев // Структурно-геоморфологические исследования в Прикаспии. – Ленинград : Гостоптехиздат, 1962. – С. 446–498.
10. СП 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. – Москва : Трансстрой, 1998. – 83 с.
11. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82\*. – Москва : ФЦС, 2012. – 112 с.
12. Стратегия развития российских морских портов в Каспийском бассейне, железнодорожных и автомобильных подходов к ним в период до 2030 года : распоряжение Правительства РФ № 2469-р от 8.11.2017 // ГАРАНТ.РУ. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71707372/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Федоров П. В. Стратиграфия четвертичных отложений и история развития Каспийского моря / П. В. Федоров // Труды Геологического института АН СССР. – 1957. – Вып. 10. – 297 с.

14. Шарков В. В. Геология подводного склона западного берега Каспийского моря (от г. Махачкалы до устья р. Куры) / В. В. Шарков. – Москва – Ленинград : Наука, 1964. – 430 с.
15. Юровский Ю. Г. Гидротехнические сооружения в системе берегозащиты. Строительство и техногенная безопасность / Ю. Г. Юровский // Сб. науч. трудов Национальной Академии природоохранного и курортного строительства. – 2011. – Вып. 39. – С. 127–133.

#### References

1. Alkhimenko A. I., et al. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya morskikh portov* [Hydrotechnical structures of seaports], Saint Petersburg, Lan Publ., 2014. 427 p.
2. Belyaev N. D., Lebedev V. V., Nudner I. S., Semenov K. K., Shchemelin D. I. Vybor meropriyatii po zashchite ot razmyva osnovaniy gravitatsionnykh platform dlya osvoeniya shelfa [The choice of measures to protect from the erosion of the bases of gravity platforms for the development of the shelf]. *Magazine of Civil Engineering*, 2015, no. 3, pp. 79–109.
3. Gadzhiev M. G. O vliyaniy urovnya Kaspiya na velichinu ploshchadi pribrezhnykh territoriy [On the impact of the Caspian Sea level on the amount of coastal areas]. *Vestnik Dagestanskogo nauchnogo tsentra* [Bulletin of the Dagestan Scientific Center], 2003, no. , pp. 75–81.
4. Lyapichev Yu. P. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Hydrotechnical constructions], Moscow, RUDN Publ., 2008. 302 p.
5. Goryunov B. F., Shikhie F. M., Nikerov P. S. *Morskie porty* [Seaports]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Transport Publ., 1979. 368 p.
6. Khadla G. M., Sapozhnikov A. I. No. 162190 U1 (RF). Device for protecting the coastal zone from erosion. Published 27.05.2016. BI no. 15, 2016.
7. Svitoch A. A. *Bolshoy Kaspiy: stroenie i istoriya razvitiya* [Big Caspian: the structure and history of development], Moscow, MSU Publ. House, 2014. 272 p.
8. Skorniyakova N. S. Geologicheskoe stroenie i sovremennye osadki sklona zapadnogo poberezhya sredney chasti Kaspiyskogo morya [Geological structure and modern sediments of the slope of the western coast of the middle part of the Caspian Sea]. *Geologicheskoe stroenie podvodnogo sklona kaspiyskogo morya* [Geological structure of the underwater slope of the Caspian Sea], Moscow, USSR Academy of Sciences Publ. House, 1962. 249 p.
9. Solovev V. F., Kulakova L. S., Lebedev L. I., Maev Ye. G. *Osnovnye cherty reliefa i geologicheskoy struktury dna Srednego i Yuzhnogo Kaspiya* [The main features of the relief and geological structure of the Middle and the Southern Caspian], Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1962, pp. 446–498.
10. SP 32-103-97. Design of offshore protective structures. Moscow, Transstroy Publ., 1998. 83 p.
11. SP 38.13330.2012. Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice and ships). Updated version of SNiP 2.06.04-82 \*. Moscow, FTsS Publ., 2012. 112 p.
12. Strategy of development of Russian seaports in the Caspian basin, railway and automobile approaches to them in the period until 2030: the order of the Government of the Russian Federation No. 2469-r of 8.11.2017. *GARANT.RU*. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71707372/>.
13. Fedorov P. V. Stratigrafiya chetvertichnykh otlozheniy i istoriya razvitiya Kaspiyskogo morya [Stratigraphy of Quaternary sediments and history of development of the Caspian Sea]. *Trudy Geologicheskogo instituta AN SSSR* [Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences], 1957, issue 10. 297 p.
14. Sharkov V. V. *Geologiya podvodnogo sklona zapadnogo berega Kaspiyskogo morya (ot g. Makhachkaly do ustya r. Kury)* [Geology of the underwater slope of the western shore of the Caspian Sea (from Makhachkala to the mouth of the river. Chickens)], Moscow – Leningrad, Nauka Publ., 1964. 430 p.
15. Yurovskiy Yu. G. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya v sisteme beregozashchity. Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost [Hydrotechnical structures in the shore protection system. Building and technogenic security]. *Sb. nauch. trudov Natsionalnoy Akademii prirodookhrannogo i kurortnogo stroitelstva* [Proceedings of the National Academy of Nature Protection and Resort Construction], 2011, issue 39, pp. 127–133.