

Copyright © 2015 by Academic Publishing House Researcher



Published in the Russian Federation
European Journal of Technology and Design
Has been issued since 2013.

ISSN: 2308-6505

E-ISSN: 2310-3450

Vol. 10, Is. 4, pp. 127-139, 2015

DOI: 10.13187/ejtd.2015.10.127

www.ejournal4.com



UDC 627.2

Port Areas and Approach Channels Sinoimeri by Rivers Sediment Transport

¹ Konstantin N. Makarov

² Aleksandr V. Ivanov

³ Anastasiya A. Gorlova

¹ Sochi State University, Russian Federation

Doctor of technical Sciences, Professor

E-mail: ktk99@mail.ru

² Enterprise "Inzgzachita", Russian Federation

Senior engineer

E-mail: shurik-2003@mail.ru

³ Sochi State University, Russian Federation

E-mail: nastydarij@yandex.ru

Abstract

When designing ports, one important task is to predict sinoimeri port areas and approach channels sandy or pebbly silt. On the basis of this forecast are determined by the methods of protection from sinoimeri, as well as the frequency and volume of maintenance dredging works.

Out at sea the river flow becomes turbulent inertial jet. Friction on the bottom and the interaction with sea water leads to an overall reduction of jet velocity and its spreading. An important regularity is also spreading muddy river flow on the surface of the denser seawater. This creates conditions for rapid deposition of large fractions of the sediment on the bottom. The bulk of the sediment particles larger than 5 mm is deposited on the surface of the river bar and further transported along the shore wave energy currents. Outside of the bar shall be made only fine-grained material. The particle size of sediment deposited on the bottom outside of the bar decreases sharply with depth. Thus, sinoimeri of harbors and access channels is mainly suspended river sediments.

To calculate the distribution of the river flow, in the coastal zone in the presence of long chore currents developed a special method that implements the theory of turbulent planar jet in a drifting thread. The solid portion of the jet flow that enters the waters of the port or channel as a result of increasing depth and, consequently, reduce turbidity settles, causing shoaling waters.

The example of calculation of sinoimeri berth 1a in the port of Tuapse by solid flow of Tuapse river.

Keywords: port waters, approach channels, dredging, sinoimeri, rivers sediment transport, turbidity jet drifting in the stream.

Введение

При проектировании портов, одной из важных задач является прогноз заносимости портовых акваторий и подходных каналов песчаными или галечными наносами. На основе такого прогноза определяются методы защиты от заносимости, а также периодичность и объемы ремонтных дноуглубительных работ.

Материалы и методы

В современной литературе в большей степени рассмотрены вопросы заносимости подходных каналов к портам [1–15] и в несколько меньшей – заносимость портовых акваторий [16–23].

Во всех работах отмечается, что заносимость акваторий и каналов происходит в результате уменьшения скорости течения над ними из-за увеличения глубины и, соответственно, уменьшения транспортирующей способности водного потока. Заносимость акваторий твердым стоком рек весьма кратко в общей постановке рассматривается в нормативном документе [24]. Однако конкретной методики расчета заносимости портовых акваторий и каналов твердым стоком рек в указанном документе не приводится.

Схема заносимости акватории подходного канала или акватории дноуглубления наносами речной паводковой струи показана на рис. 1. Этот процесс происходит во время крупных паводков на реках, впадающих в море вблизи расположения портовых сооружений.

Поэтому для расчета заносимости портовой акватории необходимо, вначале, рассчитать расходы жидкого Q_0 и твердого Q_T стока реки [25], а также скорости паводковых струй реки при ее впадении в море U_0 . Мутность струи C_0 в устьевой части реки определяется по формуле [26]:

$$C_0 = \frac{K_m V^3}{g d W_d}, \quad (1)$$

где K_m - эмпирический коэффициент, $K_m = 0.24$, V - осредненная по глубине горизонтальная скорость жидкости, g - гравитационное ускорение, d - глубина, W_d - гидравлическая крупность наносов. Кроме того, необходимо определить продолжительность паводков T_n .

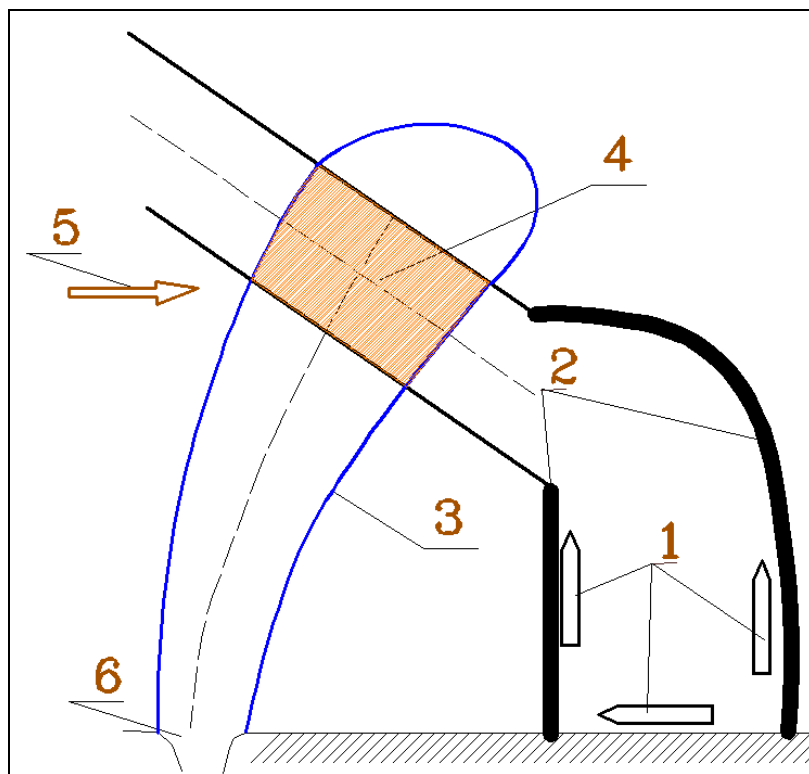


Рис. 1. Заносимость подходного канала паводковой струей реки, отклоненной вдольбереговым течением. 1 – суда у причалов, 2 – оградительные молы, 3 – границы струи речного паводка, 4 – заносимость канала, 5 – вдольбереговое течение, 6 – устье реки

На выходе в море речной поток превращается в турбулентную инерционную струю. Трение о дно и взаимодействие с морской водой приводит к общему уменьшению скорости струи и ее растеканию. Речные наносы, попадая в область скоростей, меньших сдвигающей, начинают аккумулироваться в виде конуса выноса. По мере роста аккумулятивного тела, поток встречает все возрастающее сопротивление, теряет устойчивость и под действием волнения и прибрежных вдольбереговых течений сбивается в одну из сторон в зависимости от направления вдольберегового течения.

Важной закономерностью является также растекание мутной речной струи по поверхности более плотной морской воды. При сильных паводках взаимодействие морских волн с речной струей приводит к образованию толчеи и резкому снижению, как скорости волновых течений, так и скорости речной струи. Это создает условия для быстрого выпадения крупных фракций наносов на дно. При этом основная масса частиц наносов крупнее 5 мм осаждаются на поверхности речного бара и в дальнейшем транспортируются вдоль берега волновыми энергетическими течениями. За пределы бара выносятся только мелкозернистый материал. Крупность частиц наносов, оседающих на дно за пределами бара, резко уменьшается с глубиной.

Таким образом, заносимость акваторий портов и подходных каналов происходит в основном взвешенными речными наносами.

Для расчета распространения речной струи, в прибрежной зоне при наличии вдольберегового течения, разработана специальная методика [27], реализующая теорию турбулентной плоской струи в сносящем потоке [28]. При этом сделаны следующие допущения:

- мутность воды в струе является осредненной по глубине и определяется по формуле (1);
- речная струя рассчитывается как турбулентная плоская струя в сносящем потоке;
- коэффициент турбулентной структуры струи принимается равным $A = 0.1$ [28].

Сносящее вдольбереговое течение является суммой волновых, дрейфовых и градиентных течений. Его скорость V может быть определена по данным непосредственных наблюдений или рассчитана по скорости ветра. В последнем случае расчет выполняется в соответствии с нормативными и рекомендательными документами [29-32].

Расчет параметров речной струи в прибрежной зоне выполняется в следующей последовательности.

Полутолщина струи:

$$B = \left(\frac{0.24X}{B_0} + 1 \right) B_0, \quad (2)$$

где B - полутолщина струи на расстоянии X от оголовка источника (устья реки), B_0 - полутолщина струи на выходе из оголовка источника (половина ширины устья реки).

Скорость на оси основного участка струи:

$$U_{\max} = \frac{1.2U_0}{\sqrt{\frac{0.1X}{B_0} + 0.41}}, \quad (3)$$

где U_0 - скорость на выходе из устья реки.

Расход на основном участке струи:

$$Q_{\max} = \frac{1.2Q_0}{\sqrt{\frac{0.1X}{B_0} + 0.41}}, \quad (4)$$

где Q_0 - расход на выходе из устья.

Скорость в любой точке струи:

$$U = U_{\max} (1 + N^{1.5})^2, \quad (7)$$

где N - относительное расстояние от точки до оси струи.

Траектория струи в сносящем потоке

$$X = D_a \left(\frac{q_1}{q_2} \right)^{1.3} \left(\frac{Y}{D_a} \right)^2 + \left(\frac{Y}{D_a} \right) \operatorname{ctg} \alpha, \quad (8)$$

где D_a - эквивалентный (гидравлический) диаметр начального сечения струи, α - угол между осью струи и осью OX на выходе (в данном случае предполагается, что $\alpha = 90^\circ$),

$$q_1 = \frac{V^2}{2}, \quad q_2 = \frac{U_0^2}{2}, \quad (9)$$

где V - скорость сносящего потока (в данном случае суммарного вдольберегового течения).

Расчет распространения речной струи вблизи акватории порта для оценки средней за год заносимости его акватории следует производить для паводков ежегодной повторяемости в сочетании с наиболее неблагоприятными скоростью и направлением вдольберегового течения, сносящего паводковую струю в сторону порта.

Для оценки возможной максимальной заносимости, рассчитываются паводки редкой повторяемости.

Мутность в паводковой речной струе определяется в любой ее точке по формуле (1). Следовательно, в зоне дноуглубления в связи с увеличением глубины мутность в той части струи, которая попадает на эту акваторию уменьшится с значения C_n на подходе к зоне дноуглубления, до значения $C_{\text{днг}}$ в этой зоне. Тогда объем заносимости зоны дноуглубления, которую пересекает струя, определится по формуле:

$$W_n = \frac{Q_{\text{днг}}(C_n - C_{\text{днг}})T_n}{\rho_n}, \quad (10)$$

где $Q_{\text{днг}}$ - расход речной струи, попадающий на акваторию причала или канала, ρ_n - плотность наносов. Уменьшение глубины Δd_3 в акватории площадью S_a в зоне проникновения речной струи определяется по формуле:

$$\Delta d_3 = \frac{W_n}{S_a}. \quad (11)$$

Результаты

В качестве примера расчета заносимости акватории причала паводковым твердым стоком реки приведем такой расчет для причала 1б в порту Туапсе.

Порт Туапсе расположен на Черноморском побережье Кавказа вблизи мыса Кодош. К северу от порта находится устье реки Паук, а к югу - реки Туапсе. Акватория порта защищена от волнения Юго-западным волноломом и Южным молотом.

В 2013 г. было завершено строительство новых нефтяных причалов 1а и 1б (рис. 2) на внешней акватории порта Туапсе. В рамках этого проекта был восстановлен на длине 400 м Юго-Восточный (Первомайский) волнолом.

Однако волновой режим на акватории причалов (особенно у причала 1б), в том числе в штормах от ЮЮВ - ЮЮЗ направлений, не удовлетворяет нормативным требованиям. Поэтому было выдвинуто предложение об удлинении волнолома на восток, в том числе устройство соединительного мола между волноломом и корневой частью Южного мола порта Туапсе. Кроме того, выполняемая реконструкция должна обеспечить предотвращение заносимости акватории причала 1б твердым стоком р. Туапсе.



Рис. 2. Расположение причалов 1а, 1б, Первомайского волнолома и устья р. Туапсе

Для научного обоснования такого строительства было выполнено математическое моделирование, одной из задач которого была разработка рекомендаций по защите акватории причала от заносимости [27].

Площадь водосбора р. Туапсе – 352 км². Русло реки на приморском участке имеет ширину в бровке 75-80 м. Весь рассматриваемый участок реки находится в подпоре. Поэтому в межень поверхность воды практически горизонтальна, скорости течения незначительны, а глубины возрастают от 0,5–1,2 м в верхней части до 2,0 м вблизи устья.

Были рассчитаны значения общего годового жидкого и твердого стока р. Туапсе в годы прохода паводков различной обеспеченности и значения годового стока взвешенных наносов. Последнее было рассчитано в предположении, что основной сток влекомых наносов происходит во время паводка, а в остальную часть года происходит сток взвешенных наносов. Результаты всех выполненных расчетов сведены в табл. 1.

Таким образом, в результате выполненных расчетов установлено, что среднемноголетний сток взвешенных наносов р. Туапсе составляет 47 тыс. м³. При проходе паводков редкой повторяемости он составляет от 93 до 418 тыс. м³/год.

Далее выполнен расчет распространения паводковой струи р. Туапсе в прибрежной зоне моря.

Таблица 1

Результаты расчетов жидкого и твердого стока р. Туапсе

Обеспеченность паводка, %	Расход воды на пике паводка, м ³ /с	Сток взвешенных наносов за паводок, тыс. м ³	Сток влекомых наносов за паводок, тыс. м ³	Общий твердый сток за год, тыс. м ³	Сток взвешенных наносов за год, тыс. м ³
50	350	28	42	117	47
10	694	56	84	233	93
2	1440	117	176	484	194
1	1828	148	222	617	245
0.1	3103	251	376	1045	418

Вначале был выполнен расчет для паводков 50%, 10% и 1%, 0.1% обеспеченности при штгилевых условиях на море. При этом принимались значения расходов согласно табл. 1.

По результатам этого расчета установлено, что паводковая струя р. Туапсе в штгилевых условиях на море при всех обеспеченностях паводков не распространяется в акваторию причалов 1а и 1б.

В качестве возможных неблагоприятных гидрометеорологических ситуаций рассмотрен ветер от ЮВ со скоростями 10 м/с и 15 м/с. Результаты расчета суммарных (дрейфовых, волновых и градиентных) течений для скоростей ветра от ЮВ 10 м/с и 15 м/с представлены на рис. 3.

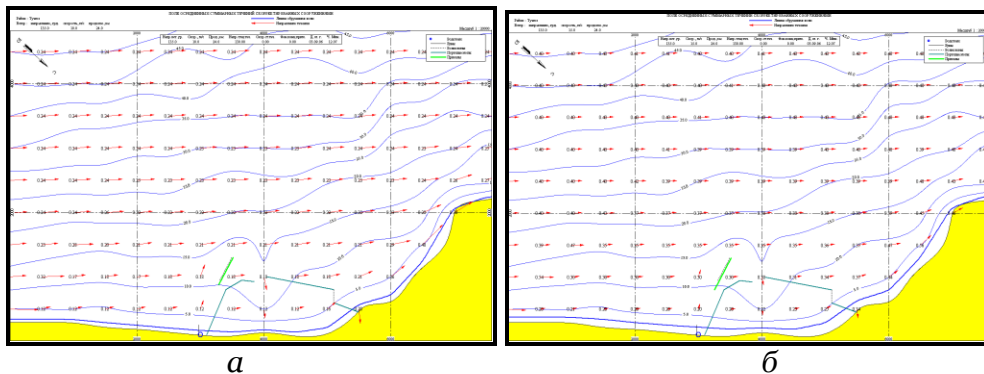


Рис. 3. Поля суммарных течений в прибрежной зоне, прилегающей к порту Туапсе при ветре от ЮВ со скоростями 10 м/с (а) и 15 м/с (б)

Для условий этих сносящих течений были выполнены расчеты распространения речной струи в прибрежной зоне. В результате установлено, что при ветрах от ЮВ со скоростями 10 и 15 м/с паводковая струя попадает на акваторию причала 1б. Для примера на рис. 4, 5 приведены результаты расчетов распространения речной струи с обеспеченностью паводка 50% и 1% для указанных скоростей ветра.

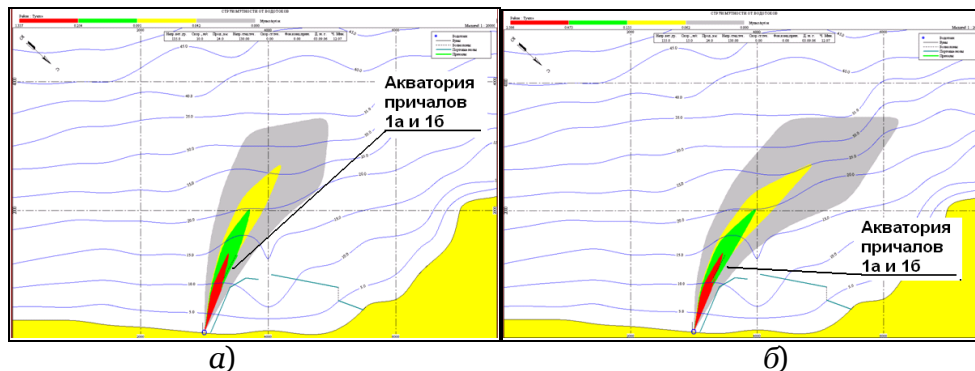


Рис. 4. Распространение струи мутности р. Туапсе в прибрежной зоне при паводке 50% обеспеченности и ветре от ЮВ со скоростями 10 м/с (а) и 15 м/с (б)

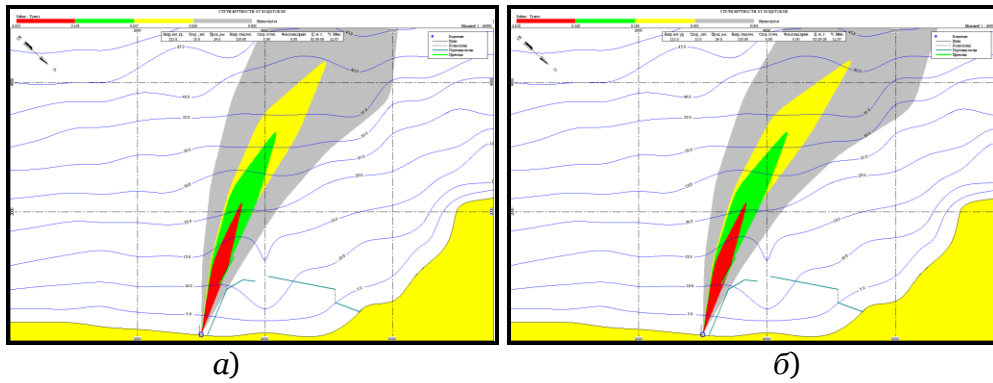


Рис. 5. Распространение струи мутности р. Туапсе в прибрежной зоне при паводке 1% обеспеченности и ветре от ЮВ со скоростями 10 м/с (а) и 15 м/с (б)

По результатам расчетов распространения паводковых струй по формуле (10) были определены объемы стока взвешенных наносов при паводках различной обеспеченности на р. Туапсе, попадающие на акваторию причала 1б при различных гидрометеорологических ситуациях. По этим данным и данным табл. 1 были рассчитаны объемы стока наносов, попадающих на акваторию причала.

Далее, принимая акваторию причала 1б в форме трапеции с размерами 243 x 60 x 236 x 127 м (рис. 6), была рассчитана площадь этой акватории $S_a = 22066 \text{ м}^2$.

Тогда можно рассчитать заносимость акватории причала (уменьшение глубины) в расчетных паводках. Результаты расчетов приведены в табл. 2, 3.

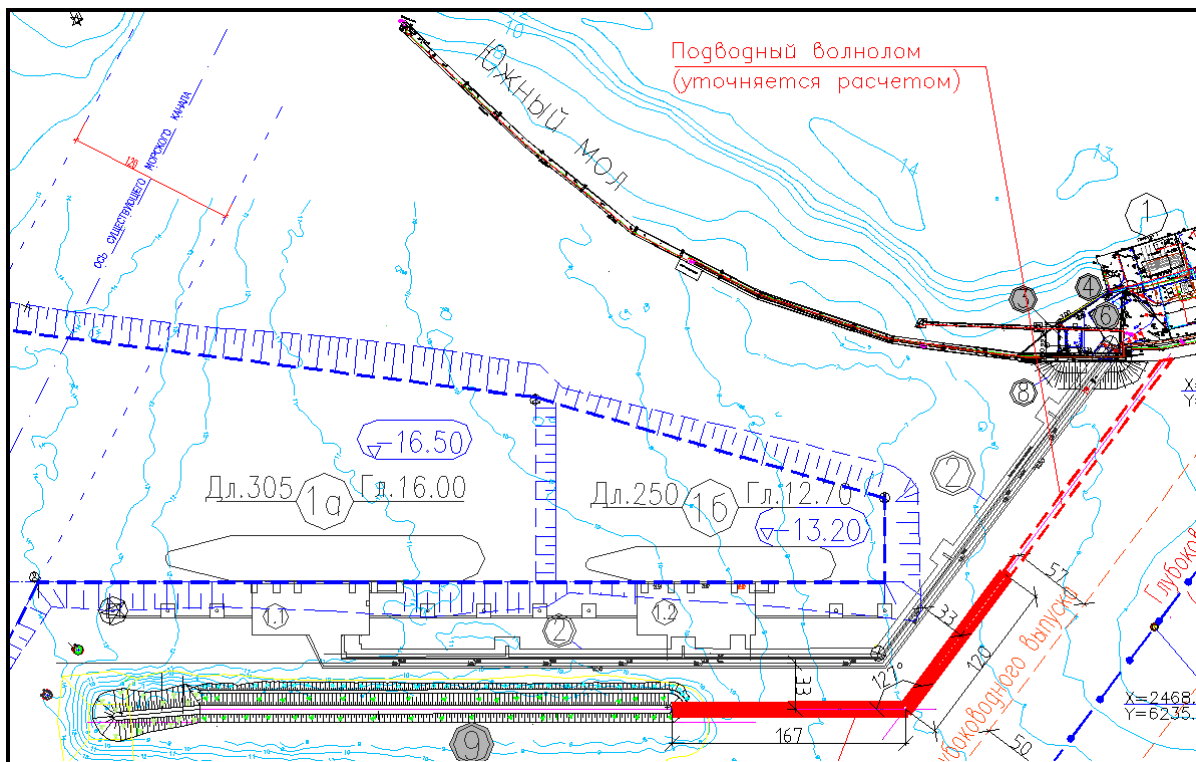


Рис. 6. Проект соединения Первомайского волнолома с корневой частью Южного мола порта Туапсе, обеспечивающим защиту акватории причала 1б от заносимости твердым стоком р. Туапсе.

Табл. 2.

Объемы взвешенных наносов, попадающих на акваторию причала 1 б и ее заносимость при паводках различной обеспеченности при ветре от ЮВ со скоростью 10 м/с

Обеспеченность паводка, %	50	10	1	0.1
Объем наносов, оседающий на акватории причала, тыс. м ³	2.8	7.3	23.7	42.7
Заносимость акватории причала 1б за паводок, м	0.13	0.33	1.01	1.95

Табл. 3.

Объемы взвешенных наносов, попадающих на акваторию причала 1б и ее заносимость при паводках различной обеспеченности при ветре от ЮВ со скоростью 15 м/с

Обеспеченность паводка, %	50	10	1	0.1
Объем наносов, оседающий на акватории причала, тыс. м ³	3.1	8.4	25.2	47.7
Заносимость акватории причала 1 б за паводок, м	0.14	0.38	1.14	2.18

Принимая во внимание то обстоятельство, что кроме паводкового стока, под действием волн и течений на акваторию причала 1б будут попадать наносы и в периоды межени (табл. 1), можно утверждать, что акватория причала 1б будет заноситься в среднем на 0.20 м в год, то есть примерно на 5 тыс. м³/год.

Во время паводков редкой повторяемости величина заносимости акватории причала 1б существенно увеличивается, поэтому для ее уменьшения было предложено устройство подводного наносоудерживающего барьера (рис. 7).

Для определения оптимальной отметки подводного барьера были приняты во внимание современные теоретические представления о вертикальном распределении взвешенных наносов, приведенные в [33].

Поскольку подводный барьер будет располагаться на глубинах от 5 до 7 м и с учетом отметки среднемноголетнего уровня моря -0.26 м БС, отметку его верха следует принять равной от «минус» 3.0 м БС в месте примыкания к Первомайскому волнолому до «минус» 2.2 м БС в месте примыкания к Южному молу.

Однако, поскольку примыкание подводного барьера к Южному молу вызовет отражение волн от него и увеличение их высот в районе примыкания эстакады к Южному молу, было рекомендовано ограничить длину подводного барьера величиной 150 м.

В качестве возможной конструкции подводного барьера рекомендуется наброска из камня массой 2-4 т, прикрытая слоем тетраподов массой 13 т.

Выводы:

1. Определены теоретические положения и математические модели, позволяющие выполнить моделирование заносимости акваторий и подходных каналов к портам твердым стоком рек.

2. Разработан инженерный методы расчета заносимости акваторий и подходных каналов речными наносами.

3. В рамках разработанного метода выполнена оценка заносимости акватории причала 1б в порту Туапсе паводковым стоком р. Туапсе различной обеспеченности при различных гидрометеорологических ситуациях на прилегающей акватории Черного моря. По результатам моделирования разработаны рекомендации для проектирования

наносоулавливающего барьера, обеспечивающего защиту акватории причала от заносимости.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госбюджетной НИР № 2614 «Разработка математических моделей взаимодействия волн с гидротехническими сооружениями» Сочинского государственного университета.

Примечания:

1. Abd El-Halim Mohamed Deabes E. Sedimentation Processes at the Navigation Channel of the Liquefied Natural Gas (LNG) Port, Nile Delta, Egypt // International Journal of Geosciences, 2010. <http://www.SciRP.org/journal/ijg>.
2. Approach Channels: A Guide for Design. PIANC Working Group. 1997. 108 p.
3. Виноградов А.К., Богатова Ю.И., Синегуб И.А. Подходные каналы и их значение в функционировании экосистем акваторий морских портов // Одесский филиал Института биологии Южных морей НАН Украины, 2012.
4. Гагошидзе Ш.Н. К оценке воздействия вдольбереговых волн на береговые откосы открытых морских и речных каналов. В сб. научных трудов С. Петербургского научного центра РАН. СПб.: 2011. № 4, С. 102-113.
5. Губина Н.А. Использование аккумулирующих прорезей для защиты морских подходных каналов от заносимости // Гидротехническое строительство, 2007. № 3. С. 30–34.
6. Губина Н.А. Моделирование защиты от заносимости морского подходного канала // Вестник МГСУ. Спецвыпуск. 2010. № 1. С. 116-121.
7. Илюшин В.Я. Статистическая оценка бюджета наносов участка Керченской бухты и заносимости подходного канала Керченского морского торгового порта (КМТП). – Украинский гідрометеорологічний журнал, 2008, № 3, с. 213–220.
8. Кожухов И.В. Движение наносов и заносимость подходных каналов у отмелого песчаного берега. Дис. кандидата геогр. наук. Л., 1980.
9. Козлов С. Г. Каналы, фарватеры и зоны маневрирования – проблемы и пути решения // Гидротехника, 2011, № 2. С. 24-27.
10. Козлов С.Г. Определение оптимальных параметров судоходных каналов, фарватеров и зон маневрирования и связанные с этим проблемы безопасности судоходства // Морские портовые гидротехнические сооружения. Москва. 2011.
11. Куклев С.Б., Дивинский Б.В., Козачинский Ю.С. Прогноз заносимости морских подходных каналов методами математического моделирования // Гидротехника, 2012. № 3. С. 55-57.
12. Мирошниченко В.Г. Эксплуатация морских каналов. М.: Транспорт, 1982. 136 с.
13. Чикин А.Л., Чикина Л.Г. Моделирование процесса переноса и оседания ила в подходных судоходных каналах (на примере Таганрогского залива) // Вестник Южного научного центра РАН, 2011. т. 7. № 2. С. 45–48.
14. Шепсис В.И, Клейн А.Л. Исследование распределения наносов по профилю морского канала. В кн.: Проблемы эксплуатации морских каналов. М.: ЦРИА Морфлот, 1982 (Сборник научных трудов Черноморниипроекта), С. 62-69.
15. Van Rijn. Basics of Channel Deposition/Siltation // www.leovanrijn-sediment.com. 2013.
16. Chen M., De Smedt F., Wartel S. Sediment Transport Around Port Development Area in Estuary. Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts. APAC 2013. Bali, Indonesia, September 24-26, 2013. Pp. 204-213.
17. Liu J. Study on Sediment in Sea Ports and Coast Protection // International Conference on Estuaries and Coasts. November 9-11. 2003. Hangzhou. China. Pp. 436-444.
18. Lumborg U., Windelin A. Hydrography and Cohesive Sediment Modelling: Application to the Romo Dyb Tidal Area // Journal of Marine Systems. 2003, vol. 38. Issues 3-4. Pp. 287-303.

19. Pandoe W.W., Edge B.L. Cohesive Sediment Transport in the 3D-Hydrodynamic-baroclinic Circulation Model, Study Case for Idealized Tidal Inlet // Ocean Engineering. 2004. vol. 31. Issues 17-18. Pp.2227-2252.

20. Zuo S., Key B.K. Selection of Sediment Parameters and its Application in the Suspended Sediment Concentration Research of the Yangshan Deep-water Port in Shanghai, China // Proceedings of the Twenty-third (2013) International Offshore and Polar Engineering. Anchorage, Alaska, USA, June 30–July 5, 2013. P. 1383.

21. Wang X. H., Andutta F. P. Sediment Transport Dynamics in Ports, Estuaries and Other Coastal. Environments Earth and Planetary Sciences // Sediment Transport Processes and Their Modelling Applications. Editor by Manning A.J. 2013 under CC BY 3.0 license.

22. Лебедев В.В., Гарибин П.А., Беляев Н.Д. Инженерная геология. Заносимость морских гидротехнических сооружений. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1996. 53 с.

23. Макаров К.Н. Заносимость подходных каналов и портовых акваторий на песчаных берегах // Литодинамика донной контактной зоны океана. Материалы международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения проф. В.В. Лонгинова. 2009. М.: ГЕОС. С. 110-114.

24. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. М.: Гидрометеиздат, 1975. 239 с.

25. СП 33–101–2003. 34.Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой РФ, 2003. 70 с.

26. Россинский К.И., Дебольский В.К. Речные наносы. М.: Наука, 1980. 218 с.

27. Иванов А.В. Математическое моделирование распространения загрязнений в прибрежной зоне для проектирования гидротехнических сооружений. Дисс. канд. тех. наук. М.: МГСУ, 2013. 233 с.

28. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов И.П. Гидравлика и аэродинамика: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1987. 414 с.

29. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. С.Петербург: Гидрометеиздат, 1994. 525 с.

30. Лонге-Хиггинс М.С. Механика прибойной зоны. // Механика. Период. сб. перев. статей, 1974. № 1. М.: Мир, С. 84–103.

31. Шадрин И.Ф. Прибрежные ветровые и градиентные течения. В кн.: Береговая зона моря. М.: Наука, 1981, с. 40–46.

32. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Минрегионразвития РФ, 2012. 112 с.

33. Макаров К.Н., Макарова И.Л. Моделирование распространения взвеси и донных отложений при проведении дноуглубительных работ в порту Туапсе // Обзорение прикладной и промышленной математики, 2011, том 18, вып. 1. С. 128–129.

References:

1. Abd El-Halim Mohamed Deabes E. Sedimentation Processes at the Navigation Channel of the Liquefied Natural Gas (LNG) Port, Nile Delta, Egypt. International Journal of Geosciences. 2010. <http://www.SciRP.org/journal/ijg>.

2. Approach Channels: A Guide for Design. PIANC Working Group. 1997. 108 p.

3. Vinogradov A.K., Bogatova Yu.I., Sinigub I.A. *Podkhodnye kanaly i ikh znachenie v funktsionirovaniï ekosistem akvatoriy morskikh portov* [The approach channels and their importance in the ecosystem functioning of seaports]. Odesskiy filial Instituta biologii Yuzhnykh morey NAN Ukrainy [Odessa branch Institute of biology of Southern seas, NAS of Ukraine], 2012. (In Russian)

4. Gagoshidze Sh.N. K otsenke vozdeystviya vdol'beregovykh voln na beregovye otkosy otkrytykh morskikh i rechnykh kanalov [To assess the impact of waves on coastal slopes of the open sea and river channels]. *Sb. nauchnykh trudov S. Peterburaskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the St. Petersburg scientific center of RAS]. St. Petersburg. 2011. no.4, pp. 102-113. (In Russian)

5. Gubina N.A. Ispol'zovanie akkumulirovushchikh prorezov dlya zashchity morskikh podkhodnykh kanalov ot zanosimosti [The use of storage slots for the protection of the marine

approach channels from sinoimeri]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 2007. no. 3. pp. 30–34. (In Russian)

6. Gubina N.A. Modelirovanie zashchity ot zanosimosti morskogo podkhodnogo kanala [Modeling protect sinoimeri marine approach canal]. *Vestnik MGSU. Spetsvyпуск* [Journal of MGSU. Special issue]. 2010. no. 1. pp. 116-121. (In Russian)

7. Ilyushin V.Ya. Statisticheskaya otsenka byudzheta nanosov uchastka Kerchenskoy bukhty i zanosimosti podkhodnogo kanala Kerchenskogo morskogo trgovogo porta (KMTP) [Statistical estimation of the sediment budget of the area of the Kerch Bay and sinoimeri approach channel Kerch commercial sea port]. *Ukrainskiy gidrometeorologichniy zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological magazine]. 2008, no. 3, pp. 213–220. (In Russian)

8. Kozhukhov I.V. Dvizhenie nanosov i zanosimost' podkhodnykh kanalov u otmelogo peschanogo berega [The movement of sediment and sinoimeri approach channels in shallow sandy shores]. *Dis. kandidata geogr. Nauk* [Dis. candidate of geography. Sciences]. Leningrad. 1980. (In Russian)

9. Kozlov S. G. Kanaly, farvatery i zony manevrirovaniya – problemy i puti resheniya [Channels, fairways and manoeuvring areas - problems and solutions]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic engineering]. 2011, no. 2. pp. 24-27. (In Russian)

10. Kozlov S. G. Opredelenie optimal'nykh parametrov sudokhodnykh kanalov, farvaterov i zon manevrirovaniya i svyazannye s etim problemy bezopasnosti sudokhodstva [The determination of the optimum parameters of navigable channels, fairways and manoeuvring areas and related issues of safety of navigation]. *Morskie portovye gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Seaport waterworks]. Moscow. 2011. (In Russian)

11. Kuklev S. B., Divinskiy B. V., Kozachinskiy Yu. S. Prognoz zanosimosti morskikh podkhodnykh kanalov metodami matematicheskogo modelirovaniya [The forecast of sinoimeri the sea approach channel methods mathematical modeling]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic engineering]. 2012. no. 3. pp. 55-57. (In Russian)

12. Mirosnichenko V.G. Ekspluatatsiya morskikh kanalov [The operation of the marine channels]. Moscow. Transport, 1982. 136 p. (In Russian)

13. Chikin A.L., Chikina L.G. Modelirovanie protsessa perenosa i osedaniya ila v podkhodnykh sudokhodnykh kanalakh (na primere Taganrogskogo zaliva) [The modeling of the transport and sedimentation of silt in the approach navigation channels (on the example of the Gulf of Taganrog)]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the South scientific center of RAS]. 2011.vol. 7. no. 2. pp. 45 – 48. (In Russian)

14. Shepsis V.I., Kleyn A.L. Issledovanie raspredeleniya nanosov po profilyu morskogo kanala [The study of the distribution of sediments along the sea channel profile]. *Problemy ekspluatatsii morskikh kanalov* [The problem of exploitation of marine channels]. M. TsRIA Morflot, 1982 (Sbornik nauchnykh trudov Chernomorniiproekta [Proceedings of Chernomorniiproekt]), pp. 62-69. (In Russian)

15. Van Rijn. Basics of Channel Deposition/Siltation. 2013. www.leovanrijn-sediment.com.2013.

16. Chen M., De Smedt F., Wartel S. Sediment Transport Around Port Development Area in Estuary. Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts. APAC 2013. Bali, Indonesia, September 24-26, 2013. pp. 204-213.

17. Liu J. Study on Sediment in Sea Ports and Coast Protection. International Conference on Estuaries and Coasts. November 9-11. 2003. Hangzhou. China. Pp. 436-444.

18. Lumborg U., Windelin A. Hydrography and Cohesive Sediment Modelling: Application to the Romo Dyb Tidal Area. *Journal of Marine Systems*. 2003, vol. 38. Issues 3-4. pp.287-303.

19. Pandoe W.W., Edge B.L. Cohesive Sediment Transport in the 3D-Hydrodynamic-baroclinic Circulation Model, Study Case for Idealized Tidal Inlet. *Ocean Engineering*. 2004. vol. 31. Issues 17-18. pp. 2227-2252.

20. Zuo S., Key B.K. Selection of Sediment Parameters and its Application in the Suspended Sediment Concentration Research of the Yangshan Deep-water Port in Shanghai, China. Proceedings of the Twenty-third (2013) International Offshore and Polar Engineering. Anchorage, Alaska, USA, June 30–July 5, 2013. p. 1383.

21. Wang X. H., Andutta F. P. Sediment Transport Dynamics in Ports, Estuaries and Other Coastal. Environments Earth and Planetary Sciences. Sediment Transport Processes and Their Modelling Applications. Editor by Manning A.J. 2013 under CC BY 3.0 license.
22. Lebedev V.V., Garibin P.A., Belyaev N.D. Inzhenernaya geologiya. Zanosimost' morskikh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Engineering Geology. Sinoimeri coastal engineering]. St. Petersburg. Izd-vo SPbGTU, 1996. 53 p. (In Russian)
23. Makarov K.N. Zanosimost' podkhodnykh kanalov i portovykh akvatoriy na peschanykh beregakh [Sinoimeri approach channels and port areas on the sandy shores]. *Litodinamika donnoy kontaktnoy zony okeana. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnua rozhdeniya prof. V.V.Longinova* [Lithodynamic bottom surface area of the ocean. Proceedings of the international conference dedicated to the 100th anniversary of the birthday of Professor V. V. Longinov]. 2009. Moscow. GEOS. pp. 110-114. (In Russian)
24. Rukovodstvo po metodam issledovaniy i raschetov peremeshcheniya nanosov i dinamiki beregov pri inzhenernykh izyskaniyakh [Guidance on research methods and calculations of sediment movement and dynamics of banks for engineering surveys]. Moscow. Gidrometeoizdat, 1975. 239 p. (In Russian)
25. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [The definition of the basic design hydrological characteristics]. Moscow. Gosstroy RF, 2003. 70 p. (In Russian)
26. Rossinskiy K.I., Debol'skiy V.K. Rechnye nanosy [The river sediments]. Moscow. Nauka, 1980. 218 p. (In Russian)
27. Ivanov A.V. Matematicheskoe modelirovanie rasprostraneniya zagriazneniy v pribrezhnoy zone dlja proektirovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Mathematical modeling of diffusion of contaminants in the coastal zone for the design of hydraulic structures]. Diss. kand. teh. Nauk. M.: MGSU, 2013. 233 p. (In Russian)
28. Al'tshul' A.D., Zhivotovskiy L.S., Ivanov I.P. Gidravlika i aerodinamika [Hydraulics and aerodynamics]. Moscow. Stroyizdat, 1987. 414 p. (In Russian)
29. Rukovodstvo po morskim gidrologicheskim prognozam [The guide to marine hydrological forecasts]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1994. 525 p. (In Russian)
30. Longe-Khiggins M.S. Mekhanika pribovnoy zony [Mechanics of the surf zone]. Mekhanika. Period. sb. perev. Statey [Periodic collection of translated articles], 1974. no. 1. Moscow. Mir, pp. 84-103.
31. Shadrin I.F. Pribrezhnye vetrovye i gradientnye techeniya [Coastal wind and gradient flow]. *Beregovaya zona moray* [The coastal zone of the sea]. Moscow, Nauka, 1981, pp. 40-46. (In Russian)
32. SP 38.13330.2012. Nagruzki i vozdevstviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya (volnovye, ledovye i ot sudov [SP 38.13330.2012. Loads and effects on hydraulic structures (wave, ice and from the courts)]. Moscow. Minregionrazvitiya RF, 2012. 112 p. (In Russian)
33. Makarov K.N., Makarova I.L. Modelirovanie rasprostraneniya vzvesi i donnykh otlozheniy pri provedenii dnouglubitel'nykh rabot v portu Tuapse [Modeling the spread of suspended solids and bottom sediments during dredging in the port of Tuapse]. *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki* [Review of applied and industrial mathematics], 2011, vol. 18, issue. 1. pp. 128-129. (In Russian)

УДК 627.2

Заносимость портовых акваторий и подходных каналов твердым стоком рек

¹ Константин Николаевич Макаров

² Александр Васильевич Иванов

³ Анастасия Андреевна Горлова

¹ Сочинский государственный университет, Российская Федерация

354000, г. Сочи, ул. Советская, 26 а

Доктор технических наук, профессор

E-mail: ktk99@mail.ru

² ООО «Инжзащита», Российская Федерация

старший инженер

354000 г. Сочи, 60 лет ВЛКСМ, 14, 95

E-mail: shurik-2003@mail.ru

³ Сочинский государственный университет, Российская Федерация

354000, г. Сочи, ул. Советская, 26 а

E-mail: nastydarij@yandex.ru

Аннотация. Предложена методика расчета заносимости портовых акваторий и подходных каналов твердым стоком рек, основанная на теории турбулентной взвесенесущей струи в сносящем потоке. Под сносящим потоком понимается суммарное вдольбереговое течение в прибрежной зоне моря. Приведен пример расчета заносимости акватории причала 1б в порту Туапсе.

Ключевые слова: портовые акватории, подходные каналы, дноуглубление, заносимость, твердый сток реки, мутность, струя в сносящем потоке.