

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 626/627

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-333-348

Анализ мероприятий по борьбе с заносимостью Волго-Каспийского канала

Александр Александрович Ткачев¹, Ксения Ивановна Ключенко²

^{1, 2}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

¹gts_i_sm.nimi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

²gts_i_sm.nimi@mail.ru

Аннотация. Цель: оценка проведения мероприятий по уменьшению заносимости канала и, соответственно, снижению объемов ремонтных дноуглубительных работ путем устройства защитных сооружений, которые предлагается использовать в границах разрешенных мелководных отвалов для защиты канала от заносимости донным грунтом с забровочного пространства и регулирования потока воды в русле. **Материалы и методы.** Волго-Каспийский морской судоходный канал (ВКМСК) играет роль связующего звена и единой глубоководной магистрали из Каспийского моря в Азово-Черноморский, Балтийский и Северный бассейны через порты Оля и Астрахань. Навигация в канале продолжается в течение всего года, в зимний период проводка судов осуществляется с поддержкой ледоколов. Судовой ход в речной части канала проходит по рукаву Бахтемир – естественному продолжению русла р. Волги в пределах дельты р. Волги. Одним из основных факторов, усложняющих условия нормальной эксплуатации ВКМСК, является его заносимость, которая обуславливается твердым стоком Волги, сгонно-нагонными, ветроволновыми и ледовыми явлениями. Различное сочетание этих составляющих влечет за собой изменчивые из года в год деформации дна и отложения наносов как по всему каналу, так и на отдельных его участках. Возможным мероприятием по уменьшению заносимости канала и, соответственно, снижению объемов ремонтных дноуглубительных работ является устройство защитных сооружений, которые предлагается использовать в границах разрешенных мелководных отвалов для защиты канала от заносимости донным грунтом с забровочного пространства и регулирования потока воды в русле. **Результаты.** Рассматривались четыре варианта конструктивных решений защитных сооружений с использованием геотуб и геобэгов в различном сочетании, с различными вариантами подготовки и устройства центральной части дамбы. **Выводы:** предлагается использовать конструкции с применением композитных и традиционных материалов.

Ключевые слова: Волго-Каспийский морской судоходный канал, колебания уровня Каспия, заносимость канала, защитные дамбы, геотубы, геобэги

Для цитирования: Ткачев А. А., Ключенко К. И. Анализ мероприятий по борьбе с заносимостью Волго-Каспийского канала // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 333–348. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-333-348>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Analysis of measures to combat the Volga-Caspian Canal sedimentation

Alexander A. Tkachev¹, Ksenia I. Klyuchenko²

^{1, 2}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹gts_i_sm.nimi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

²gts_i_sm.nimi@mail.ru

Abstract. Purpose: to assess measures to reduce the canal sedimentation and, accordingly, reduce the volume of repair dredging by constructing protective structures, which are proposed to be used within the boundaries of permitted shallow-water dumps to protect the canal from bottom soil from the backbone space and to regulate the water flow into channel. **Materials and methods.** The Volga-Caspian Sea Navigation Canal (VCSNC) plays the role of a connecting link and a single deep-water highway from the Caspian Sea to the Azov-Black Sea, Baltic and Northern basins through the ports of Olya and Astrakhan. Navigation in the canal continues throughout the year; in winter, ships are piloted with the support of ice-breakers. The ship's passage in the river part of the canal passes along the Bakhtemir branch – a natural continuation of the river bed Volga within the delta of the river Volga. One of the main factors complicating the conditions for the normal operation of the VCSNC is its sedimentation, which is caused by the solid runoff of the Volga, surge, wind wave and ice phenomena. A different combination of these components entails bottom deformations and sediment deposition, which vary from year to year, both throughout the channel and in its individual sections. A possible measure to reduce the canal sedimentation and, accordingly, reduce the volume of repair dredging is the construction of protective structures, which are proposed to be used within the boundaries of permitted shallow dumps to protect the canal from being carried by bottom soil from the backwater and to regulate the water flow in the channel. **Results.** Four options for constructive solutions for protective structures using geotubes and geobags in various combinations, with various options for preparing and constructing the central part of the dam were considered. **Conclusions:** it is proposed to use structures using composite and traditional materials.

Keywords: the Volga-Caspian Sea Navigation Canal, fluctuations in the level of the Caspian Sea, canal drift, protective dams, geotubes, geobags

For citation: Tkachev A. A., Klyuchenko K. I. Analysis of measures to combat the Volga-Caspian Canal sedimentation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022; 12(4):333–348. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-333-348>.

Введение. Каспийское море является крупнейшим бессточным водоемом мира. Колебания уровня Каспийского моря, не имеющего связи с океаном, значительны и обусловлены в основном изменением стока впадающих в него рек. Мелководный Северный Каспий наиболее подвержен влиянию притока речной воды Волги, на долю которой приходится 80 % общего стока всех рек [1].

Создание в бассейне р. Волги каскада крупнейших водохранилищ, развитие ирригации в поймах других рек 75 лет назад вылилось в проблему падения уровня Каспийского моря. Значительное понижение уровня

приводит к существенному сокращению площади моря и изменению очертания его берегов, наносит большой ущерб народному хозяйству, особенно рыбному промыслу, сокращая площадь нереста и нагула рыб, а также морскому транспорту, вызывая серьезные перебои в его работе в связи с обмелением судоходных каналов и морских трасс.

Целью исследования являлась оценка проведения мероприятий по уменьшению заносимости канала и, соответственно, снижению объемов ремонтных дноуглубительных работ путем устройства защитных сооружений, которые предлагается использовать в границах разрешенных мелководных отвалов для защиты канала от заносимости донным грунтом с забровочного пространства и регулирования потока воды в русле.

В Северном Каспии происходят несколько видов колебаний уровней моря, самые существенные из них многолетние, сезонные и сгонно-нагонные.

В многолетних колебаниях уровня Каспийского моря отсутствует закономерность. Исторические данные свидетельствуют о том, что высокие и низкие стояния уровня сменяли друг друга, но эти циклические колебания имели весьма различные временные интервалы и амплитуды. В многолетнем ходе колебаний уровня четко выделяются многоводные и маловодные периоды, которые сменяют друг друга с определенной циклическостью лет. Внутри каждого периода отмечаются как маловодные, так и многоводные годы [2, 3].

Материалы и методы. По имеющимся данным, самый высокий уровень за последние 400 лет (минус 23 м) приходится на промежуток 1804–1805 гг., самый низкий (минус 29 м) – на 1977 г. С 1978 г. наметилась тенденция к повышению уровня, к концу 1985 г. он был равен минус 28 м. На графике (рисунок 1) показан многолетний ход уровней моря по водному пункту (в/п) Махачкала.

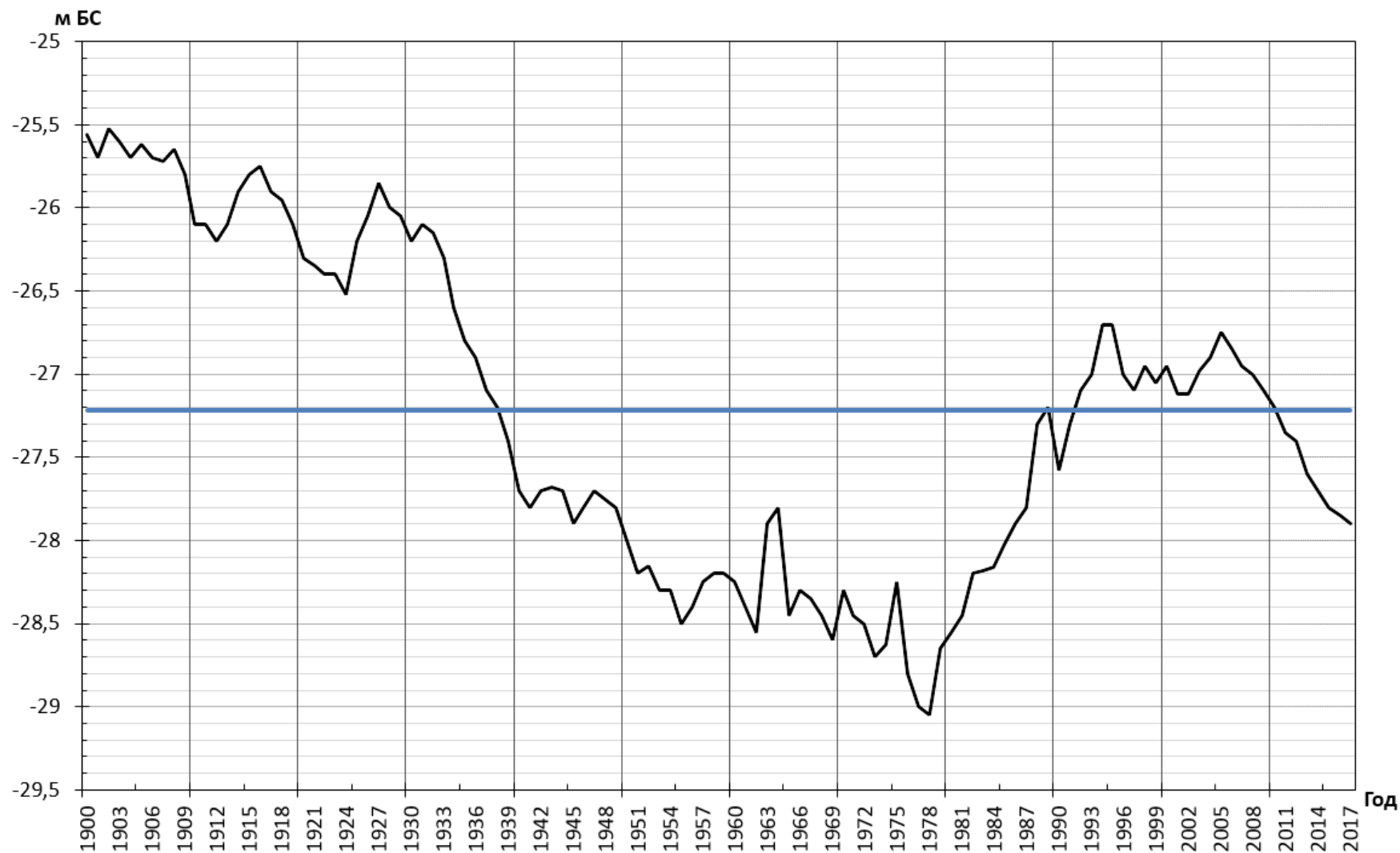


Рисунок 1 – Многолетний ход уровней моря по в/п Махачкала

Figure 1 – Long-term course of sea levels along the water point Makhachkala

Сезонные колебания уровней воды в течение года имеют четко выраженный циклический характер и хорошо прослеживаются по среднемесячным величинам уровня.

Самое низкое в году положение уровня наблюдается в зимне-весенний период (декабрь – апрель), затем начинается его повышение за счет весеннего половодья на Нижней Волге с наибольшей интенсивностью роста в мае. Наивысший уровень моря обычно отмечается в июне-июле, затем уровень начинает понижаться.

На плавные объемные многолетние и сезонные колебания уровня вод Каспия накладываются резкие непериодические кратковременные (от нескольких часов до нескольких суток) сгонно-нагонные колебания анемобарического происхождения. Величины нагонов и сгонов зависят от характеристик ветра (направления, скорости и продолжительности его действия), а также от очертания береговой линии и распределения глубин в прибрежной зоне моря. В Северном Каспии с его обширными мелководьями, с малыми уклонами дна моря созданы наиболее благоприятные условия для развития значительных нагонов и сгонов, максимальных зон затопления и осушки [4].

Поэтому Каспий занимает одно из первых мест в России по величине сгонно-нагонных колебаний уровня воды и их влиянию на хозяйственную деятельность. Здесь отмечаются большие величины сгонов (до 2,5 м) и нагонов (до 3,5 м). При крупных нагонах в условиях крайне пологого побережья Северного Каспия происходит затопление водами моря полосы побережья шириной до 15–25 км, что наносит огромный материальный ущерб и вызывает негативные экологические последствия, так как при этом участки побережья затапливаются водами с соленостью от 3 до 10 ‰ [5].

В таблицах 1–3 помещены данные о горизонтах воды (ГВ) за период 1972–2016 гг. по в/п Искусственный, по в/п Оля за период 1956–2017 гг., по в/п Икрыное за период 1956–2015 гг.

Таблица 1 – Уровни воды по в/п Искусственный

Table 1 – Water levels in water point Iskusstvennyy

Показатель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Максимальный уровень	$\frac{-25,81}{2005}$	$\frac{-26,05}{2005}$	$\frac{-25,83}{2015}$	$\frac{-25,75}{2004}$	$\frac{-25,96}{1993}$	$\frac{-25,00}{1991}$	$\frac{-26,08}{1993}$	$\frac{-26,04}{1991}$	$\frac{-26,01}{1993}$	$\frac{-25,87}{1992}$	$\frac{-26,03}{1992}$	$\frac{-25,82}{1990}$
Минимальный уровень	$\frac{-27,85}{1984}$	$\frac{-27,70}{1979}$	$\frac{-27,74}{1976}$	$\frac{-27,82}{1976}$	$\frac{-27,71}{1984}$	$\frac{-27,53}{1973}$	$\frac{-27,50}{1975}$	$\frac{-27,56}{1976}$	$\frac{-27,60}{1973}$	$\frac{-27,76}{1976}$	$\frac{-27,72}{1973}$	$\frac{-28,04}{1983}$
Среднемесячный уровень	-27,19	-27,15	-27,18	-27,21	-27,00	-26,90	-27,01	-27,05	-27,09	-27,17	-27,21	-27,18
Амплитуда, см	204	165	191	207	175	253	142	152	159	189	166	222
В числителе – уровень, м БС; в знаменателе – год.												

Таблица 2 – Уровни воды по в/п Оля

Table 2 – Water levels in water point Olya

Показатель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Максимальный уровень	$\frac{-25,23}{1983}$	$\frac{-25,27}{2007}$	$\frac{-25,05}{1985}$	$\frac{-24,98}{1994}$	$\frac{-24,62}{1995}$	$\frac{-24,61}{1979}$	$\frac{-24,87}{1958}$	$\frac{-25,08}{2017}$	$\frac{-25,26}{1994}$	$\frac{-25,20}{1994}$	$\frac{-25,13}{1993}$	$\frac{-24,77}{2008}$
Минимальный уровень	$\frac{-26,98}{1986}$	$\frac{-26,65}{1983}$	$\frac{-26,78}{1989}$	$\frac{-26,79}{1984}$	$\frac{-26,75}{1984}$	$\frac{-26,61}{1973}$	$\frac{-26,69}{2012}$	$\frac{-26,65}{1973}$	$\frac{-26,70}{1975}$	$\frac{-26,74}{1975}$	$\frac{-26,73}{1972}$	$\frac{-26,73}{1972}$
Среднемесячный уровень	-26,05	-25,93	-26,01	-26,15	-25,45	-25,48	-25,99	-26,12	-26,20	-26,27	-26,30	-26,17
Амплитуда, см	175	138	173	181	213	200	182	157	144	154	160	196
В числителе – уровень, м БС; в знаменателе – год.												

Таблица 3 – Уровни воды по в/п Икряное

Table 3 – Water levels in water point Ikryanoe

Показатель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Максимальный уровень	$\frac{-24,19}{1979}$	$\frac{-24,18}{1979}$	$\frac{-24,30}{1979}$	$\frac{-23,51}{1991}$	$\frac{-22,92}{1991}$	$\frac{-22,87}{1979}$	$\frac{-23,41}{1958}$	$\frac{-24,04}{1994}$	$\frac{-24,60}{1994}$	$\frac{-24,61}{1990}$	$\frac{-24,32}{1993}$	$\frac{-24,18}{2008}$
Минимальный уровень	$\frac{-26,19}{2011}$	$\frac{-25,90}{2000}$	$\frac{-26,20}{1976}$	$\frac{-26,23}{1976}$	$\frac{-26,15}{2015}$	$\frac{-26,05}{1973}$	$\frac{-26,07}{1973}$	$\frac{-26,11}{1973}$	$\frac{-26,17}{1975}$	$\frac{-26,20}{1975}$	$\frac{-26,13}{1973}$	$\frac{-26,13}{1975}$
Среднемесячный уровень	-25,25	-25,05	-25,17	-25,32	-24,09	-24,38	-25,29	-25,48	-25,57	-25,62	-25,62	-25,42
Амплитуда, см	200	172	190	272	323	318	266	207	157	159	181	195
В числителе – уровень, м БС; в знаменателе – год.												

У побережья Северного Каспия условия формирования нагонов при изменении среднего уровня моря в интервале от минус 29 до минус 26 м БС существенно не изменяются, поскольку уклоны дна моря и прибрежной суши практически одинаковы. Для северного побережья Каспия эффективными направлениями нагонного ветра являются ветры южных румбов. Эффективные направления сгонного ветра – им противоположные. В таблице 4 приведены сведения о наиболее опасных нагонах, наблюдавшихся по в/п о. Искусственный с 1935 по 2005 г. [2].

Таблица 4 – Сведения о наиболее опасных нагонах, наблюдавшихся по в/п о. Искусственный [2]

Table 4 – Information about the most dangerous surges observed in the water point o. Iskusstvenny [2]

Дата	Величина нагона, см	Отметка нагона, м БС
13.11.1952	214	–25,13
23.06.1991	156	–25,00
19.03.2000	155	–25,90
28.03.1980	136	–26,64
14.10.1998	128	–25,59
25.10.1994	120	–25,23
17.04.1989	117	–26,22
05.10.1944	116	–26,24
28.12.1981	116	–26,26
14.12.1990	115	–25,82
17.10.1992	114	–25,87

В октябре 2017 г. выполнялись измерения уровней воды, расходов, скоростей, мутности в характерных створах на 55,5; 76; 117,2; 144,2 км.

На 55,5 км Волго-Каспийского морского судоходного канала (далее ВКМСК) расход воды при ГВ 19.10.2017 минус 26,29 м БС составлял 560 м³/с при средней скорости течения 0,48 м/с. Расход взвешенных наносов на дату изысканий составил 2,133 кг/с при мутности 2,8–5,2 мг/дм³.

На 76,0 км ВКМСК расход воды при ГВ 19.10.2017 минус 26,60 м БС составлял 1010 м³/с при средней скорости течения 0,42 м/с. Расход взвешенных наносов на дату изысканий составил 4,747 кг/с при мутности 2,4–7,8 мг/дм³.

На 117,2 км ВКМСК расход воды при ГВ 25.10.2017 минус 27,26 м БС составлял 1720 м³/с при средней скорости течения 0,67 м/с. Расход взвешенных наносов на дату изысканий составил 13,984 кг/с при мутности 5,6–12,2 мг/дм³.

На 144,62 км ВКМСК расход воды при ГВ 24.10.2017 минус 27,76 м БС составлял 190 м³/с при средней скорости течения 0,24 м/с. Расход взвешенных наносов на дату изысканий составил 1,520 кг/с при мутности 6,4–10,2 мг/дм³ [6].

По химическому составу речная вода гидрокарбонатная. Вода пресная, по плотному остатку 524–736 мг/дм³. Вода оказывает неагрессивное воздействие на арматуру железобетонных конструкций при постоянном погружении и слабоагрессивное воздействие при периодическом смачивании. Вода неагрессивна по отношению к цементу всех марок.

ВКМСК был введен в эксплуатацию в 1874 г. и является одним из крупнейших гидротехнических сооружений в мировом масштабе [2]. ВКМСК играет роль связующего звена и единой глубоководной магистрали из Каспийского моря в Азово-Черноморский, Балтийский и Северный бассейны через порты Оля и Астрахань. Навигация в канале продолжается в течение всего года, в зимний период проводка судов осуществляется с поддержкой ледоколов [2, 7].

Общая протяженность ВКМСК составляет 101,5 морской мили (188 км), из них морская часть составляет 55,1 морской мили (102 км), речная (русовая) часть – 46,4 морской мили (86 км). Отсчет километров на канале ведется от условного «0 км», расположенного у истока протоки Бертюль, недалеко от пос. Красные Баррикады, в сторону Каспийского моря [2].

Судовой ход в речной части канала проходит по рукаву Бахтемир – естественному продолжению русла р. Волги в пределах дельты р. Волги. Бахтемир является одним из наименее разветвленных и наиболее полно-

водных водотоков дельты р. Волги, следует вдоль правого коренного борта долины и играет роль ее западной границы [2].

Одним из основных факторов, усложняющих условия нормальной эксплуатации ВКМСК, является его заносимость. Заносимость канала складывается из таких составляющих, как твердый сток Волги, сгонно-нагонные, ветроволновые и ледовые явления [2]. Различное сочетание этих составляющих, могущих в весьма широких пределах меняться по величине и эффективности своего воздействия, влечет за собой чрезвычайно изменчивые из года в год деформации дна и отложения наносов как по всему каналу, так и на отдельных его участках [2, 8].

Навигационные параметры канала поддерживаются ежегодными ремонтными дноуглубительными работами. В настоящее время реальная альтернатива ремонтным дноуглубительным работам для поддержания навигационных параметров канала отсутствует. Возможными мероприятиями по уменьшению заносимости канала и, соответственно, снижению объемов ремонтных дноуглубительных работ являются защитные сооружения, которые предлагается использовать в границах разрешенных мелководных отвалов для защиты канала от заносимости донным грунтом с забровочного пространства и регулирования потока воды в русле. Защитные сооружения предлагается построить в крупных проранах, которые являются участками оттока воды из русла канала и поставщиками донного грунта с забровочного пространства [9].

Результаты и обсуждение. Рассматривалось несколько вариантов конструктивных решений защитных сооружений. Конструктивное решение защитного сооружения по варианту 1 (тип 1) представляет собой оградительную дамбу, выполненную из извлеченного при ремонтном дноуглублении грунта. Для предотвращения сползания намытого грунта в ложе канала вдоль бровки и у бровок рыбоходов устраивается защитное ограждение из геосинтетических материалов (геотуб). При заполнении дон-

ным грунтом геотубы приобретают округлую форму. Для защиты геосинтетических материалов от солнечных лучей и ледовых нагрузок по периметру защитных сооружений намывается пляжный откос с уклоном 1:20. Намыв территории осуществляется с превышением уровня максимального половодья на рассматриваемом участке. Далее устраиваются площадки для отвалов грунтов, извлеченных при ремонтном дноуглублении [10].

Конструктивное решение защитного сооружения по варианту 2 (тип 1) представляет собой аналогичную конструкцию оградительной дамбы с выполнением защитного ограждения для вновь намываемых грунтов из геосинтетических мешков, наполненных песком (геобэги). Данные мешки наполняются вручную или средствами малой механизации на существующих грунтовых отвалах (рисунок 2).



Рисунок 2 – Складирование геосинтетических мешков, наполненных песком (фото А. А. Ткачева)

Picture 2 – Storage of geosynthetic bags, filled with sand (photo by A. A. Tkachev)

Формирование подводной защитной дамбы выполняется по принципу кирпичной кладки с укладкой по слою геотекстиля. Для защиты геосин-

тетических материалов от солнечных лучей и ледовых нагрузок по периметру защитных сооружений намывается пляжный откос с уклоном 1:20. Намыв территории осуществляется с превышением уровня максимального половодья на рассматриваемом участке. Далее устраиваются площадки для отвалов грунтов, извлеченных при ремонтном дноуглублении. Надводные откосы предусмотрены с уклоном 1:3.

В конструкциях типа 2 (варианты 1 и 2) часть откоса, обращенная к каналу и подверженная интенсивному воздействию ледяных полей при ледоходе, защищается габионными конструкциями типа матрацев Рено толщиной 23 см с заполнением каменным материалом. Ширина полосы укладки матрацев Рено принята 24,0 м [11].

В конструкциях типа 3 (варианты 1 и 2) геотубы и геобэги укладываются на подготовленное основание в виде морского матраса Triton. Матрасы представляют собой ячеистые структуры из георешетки, заполненные каменным материалом. Толщина их от 30 до 60 см, ширина 1,5 м и длина до 10 м. Полученная структура обладает значительной гибкостью и высокой прочностью. Подъем осуществляется за один или два конца без обязательного применения специальных рамных конструкций. Как правило, морские матрасы Triton применяются в качестве основания для вновь формируемых территорий и для защиты береговой линии от волнового воздействия. Преимущества систем Triton связаны с облегчением процесса производства, укладки и монтажа. Возможно изготовление матрасов различной длины, которая значительно превышает размеры традиционных габионов и плит. Изгиб и наклон при укладке и монтаже не приводят к повреждению материалов. Кроме того, устойчивость к коррозии, химическому воздействию и ультрафиолетовому излучению значительно улучшают конструктивные характеристики сооружения.

Конструктивное решение защитного сооружения (вариант 4) представляет собой оградительную дамбу, выполненную из извлеченного при

ремонтном дноуглублении грунта. Данный вариант конструкции разработан для защиты существующих мелководных отвалов от размыва параллельными ВКМСК водотоками. Основание (ядро) оградительной дамбы выполняется из двух рядов геотуб, заполненных донным грунтом. Высота оградительной дамбы принята 2,0 м. Применены геотубы с двумя раструбами сверху. При заполнении донным грунтом геотубы приобретают округлую форму. Для защиты геосинтетических материалов от ультрафиолета солнечных лучей и ледовых нагрузок по сторонам защитных сооружений намывается пляжный откос с уклоном 1:20. Ширина дамбы по верху составит 5,0 м. Намыв дамбы осуществляется с превышением уровня максимального половодья на рассматриваемом участке [12].

Для возможного определения проектной заносимости канала был проведен ретроспективный анализ исследований, посвященных определению коэффициентов заносимости по отдельным участкам морской части канала. Определение коэффициентов произведено по методике Союзморпроекта, применяемой им ранее при составлении рабочих проектов на дноуглубительные работы по Волго-Каспийскому каналу. Материалами для определения коэффициентов послужили промеры канала, коэффициенты определялись отдельно по западной и восточной половине канала. Годовые коэффициенты устанавливались по коэффициентам заносимости за отдельные периоды стояния прорези, которые определялись как отношение слоя наносов к глубине сечения канала.

В результате проведенных исследований были получены среднегодовые коэффициенты заносимости по отдельным участкам канала: 113–130 км – 0,06; 130–140 км – 0,29; 140–152 км – 0,39; 52–171 км – 0,33. Кроме того, заносимость определялась и по натурным наблюдениям, произведенным на отдельных участках канала. Полученные результаты показывают, что заносимость, вычисленная по коэффициентам, превышает наблюдаемую более чем в 2 раза.

Однако если учесть ограниченный срок наблюдений и небольшое количество поперечников, нет оснований не считаться с данными, полученными по коэффициентам заносимости, т. е. по данным произведенных дноуглубительных работ.

В истории эксплуатации объекта реализовывались различного рода мероприятия по борьбе с заносимостью основного русла. Так, в 40-х гг. прошлого века была попытка уменьшить заносимость отдельных участков канала посредством устройства местных переуглублений-ловушек, в которых скапливались наносы. В период навигации 1940 г. в районе «шалыг» было устроено переуглубление канала на протяжении 5 км, в результате чего образования «шалыг» не наблюдалось, однако в последующие навигации переуглубление было занесено.

Анализ материалов изысканий показывает, что некоторые данные, полученные в результате этих изысканий, не являются полными, а в некоторых случаях и достаточно достоверными вследствие ограниченности сроков и несовершенства методов гидрологических наблюдений.

Недостаточно полно исследован также вопрос количественной оценки размыва берегов р. Бахтемир и влияния его на заносимость отдельных участков речной части; отсутствуют данные о твердом стоке некоторых притоков и рукавов р. Бахтемир, могущих оказать влияние на заносимость последней.

Выводы

1 Наиболее перспективными для борьбы с заносимостью канала являются конструкции с применением композитных и традиционных материалов. Такими конструкциями могут быть рассмотренные выше четыре варианта продольных дамб с различными комбинациями их типов.

2 Недостаточно полно исследован вопрос о характере движения наносов, о соотношении количества донных и взвешенных наносов, об изменении количества движущихся наносов во времени. Специфические

особенности района расположения проектируемого объекта: чрезвычайно большие размеры (более 225 км), сложность и разнообразие естественных условий и др., не позволили изучить эти условия с необходимой полнотой и требуют составления и реализации специальной программы исследований.

Список источников

1. Русанов Н. В., Бухарицин П. И., Беззубиков Л. Г. Волго-Каспийский морской судоходный канал – современное состояние проблемы и пути их решения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 4–5. С. 863–871.
2. Чалов Р. С. Руслловые процессы (русловедение): учеб. пособие. М.: Инфра-М, 2016. 565 с.
3. Железняков Г. В. Пропускная способность русел, каналов и рек. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 310 с.
4. Бухарицин П. И., Русанов Н. В., Беззубиков Л. Г. Волго-Каспийский судоходный канал – от старых принципов к новым идеям. Комплекс мероприятий по улучшению функционирования Волго-Каспийского водно-транспортного узла в третьем тысячелетии: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 101 с.
5. Бабич Д. Б., Иванов В. В., Коротаев В. Н. Волго-Каспийский морской судоходный канал и определяющие его развитие природные и антропогенные факторы // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации: сб. тез. Всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 188–190.
6. Усынина А. Э., Святский А. С., Боярко С. Г. Рекомендации по восстановлению водности рыбоходных каналов дельты Волги // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 2(32). С. 78–82.
7. Баев О. А., Талалаева В. Ф. Конструктивно-технологические решения для создания и восстановления покрытий оросительных каналов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 2. С. 177–191. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1285> (дата обращения: 01.08.2022). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-177-191>.
8. Колганов А. В., Косиченко Ю. М., Складенко Е. О. Противофильтрационные облицовки каналов с использованием геосинтетических материалов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 210–226. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1302> (дата обращения: 01.08.2022). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-210-226>.
9. Баев О. А., Косиченко М. Ю. Вопросы реконструкции крупных каналов и оценка их эффективности // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 287–301. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1250> (дата обращения: 22.11.2021). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-287-301.
10. Ткачев А. А., Слинько М. А. Исследование берегоукрепительных сооружений на р. Куме в Ставропольском крае // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 1. С. 213–227. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1269> (дата обращения: 01.08.2022). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227>.
11. Gao X., Makino H., Furusho M. Analysis of ship drifting in a narrow channel using Automatic Identification System (AIS) data // WMU Journal of Maritime Affairs. 2017. Vol. 16. P. 351–363. DOI: 10.1007/s13437-016-0115-7.
12. Evaluation of the proposal for widening and deepening the Matagorda Ship Channel / P. Montagna, J. Gibeaut, M. Dotson, A. Douglas, J. Magolan, J. Palacios, L. Renner, M. Subedee, K. Trevino. Poth, Texas, 2021. 63 p.

References

1. Rusanov N.V., Bukharitsin P.I., Bezzubikov L.G., 2016. *Volgo-Kaspiyskiy morskoy sudokhodnyy kanal – sovremennoe sostoyanie problemy i puti ikh resheniya* [The Volga-Caspian sea navigable channel – a modern condition of the problem and way of their decision]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], no. 4-5, pp. 863-871. (In Russian).
2. Chalov R.S., 2016. *Ruslovye protsessy (ruslovedenie): ucheb. posobie* [Channel Processes (Channel Science): textbook]. Moscow, Infra-M Publ., 565 p. (In Russian).
3. Zheleznyakov G.V., 1981. *Propusknaya sposobnost' rusel, kanalov i rek* [Carrying Capacity of Canal and River Beds]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 310 p. (In Russian).
4. Bukharitsin P.I., Rusanov N.V., Bezzubikov L.G., 2016. *Volgo-Kaspiyskiy sudokhodnyy kanal – ot starykh printsipov k novym ideyam. Kompleks meropriyatiy po uluchsheniyu funktsionirovaniya Volgo-Kaspiyskogo vodno-transportnogo uzla v tret'em tysacheletii: monografiya* [The Volga-Caspian Navigation Channel – from Old Principles to New Ideas. A Set of Measures to Improve the Operation of the Volga-Caspian Water Transport Hub in the Third Millennium: monograph]. LAP LAMBERT Academic Publ., 101 p. (In Russian).
5. Babich D.B., Ivanov V.V., Korotaev V.N., 2019. *Volgo-Kaspiyskiy morskoy sudokhodnyy kanal i opredelyayushchie ego razvitie prirodnye i antropogennye faktory* [The Volga-Caspian sea navigable channel and the natural and anthropogenic factors determining its development]. *Sovremennye problemy gidrometeorologii i ustoychivogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii: sb. tez. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konerentsiif* [Modern Problems of Hydrometeorology and Sustainable Development of the Russian Federation: Proc. of the All-Russian Scientific-Practical Conference], pp. 188-190. (In Russian).
6. Usynina A.E., Svyatsky A.S., Boyarko S.G., 2020. *Rekomendatsii po vosstanovleniyu vodnosti rybokhodnykh kanalov del'ty Volgi* [Recommendations for restoring the water content of the fish passage channels of the Volga delta]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region], no. 2(32), pp. 78-82. (In Russian).
7. Baev O.A., Talalaeva V.F., 2022. [Design and technological solutions for irrigation canal coating formation and resurfacing]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 2, pp. 177-191, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1285> [accessed 01.08.2022], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-177-191>. (In Russian).
8. Kolganov A.V., Kosichenko Yu.M., Sklyarenko E.O., 2022. [Impervious canal linings using geosynthetic materials]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 210-226, available: <http://www.ros-niipm-sm.ru/article?n=1302> [accessed 01.08.2022], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-210-226>. (In Russian).
9. Baev O.A., Kosichenko M.Yu., 2021. [Large canals reconstruction and their efficiency assessment]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 4, pp. 287-301, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1250> [accessed 22.11.2021], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-287-301. (In Russian).
10. Tkachev A.A., Slinko M.A., 2022. [Study of bank protection structures on the Kuma river in Stavropol Territory]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 1, pp. 213-227, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1269> [accessed 01.08.2022], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227>. (In Russian).
11. Gao X., Makino H., Furusho M., 2017. Analysis of ship drifting in a narrow channel using Automatic Identification System (AIS) data. *WMU Journal of Maritime Affairs*, vol. 16, pp. 351-363, DOI: 10.1007/s13437-016-0115-7.
12. Montagna P., Gibeaut J., Dotson M., Douglas A., Magolan J., Palacios J., Renner L.,

Subedee M., Trevino K., 2021. Evaluation of the Proposal for Widening and Deepening the Matagorda Ship Channel. Poth, Texas, 63 p.

Информация об авторах

А. А. Ткачев – заведующий кафедрой гидротехнического строительства, доктор технических наук, доцент;

К. И. Ключенко – аспирант.

Information about the authors

A. A. Tkachev – Head of the Department of Hydraulic Engineering Construction, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

K. I. Klyuchenko – Postgraduate Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.09.2022; одобрена после рецензирования 17.10.2022; принята к публикации 20.10.2022.

The article was submitted 13.09.2022; approved after reviewing 17.10.2022; accepted for publication 20.10.2022.