

ПОРТЫ, ПОРТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО И ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА

PORTS, PORT INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT LOGISTICS

Научная статья
УДК 627
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-93-105>
EDN UGFNCH

Оценка влияния ветро-волновых явлений и русловых деформаций на судоходные глубины Волго-Каспийского морского судоходного канала

*Юлия Евгеньевна Воронина[✉], Игорь Константинович Кузьмичев,
Александр Николаевич Ситнов*

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижегород, Россия, yulez@yandex.ru[✉]*

Аннотация. Судоходные глубины Волго-Каспийского морского судоходного канала подвержены влиянию колебаний уровня Каспийского моря, ветро-волнового воздействия и русловых деформаций, связанных, в первую очередь, с высокой заносимостью канала. В условиях понижения уровня Каспийского моря на глубины канала большое влияние оказывают сгонные денивеляции и заносимость канала, недостаточно исследованные в имеющихся научных работах. Обоснована необходимость оценки и разработки рекомендаций по ослаблению сгонных денивеляций и заносимости канала. Выполнен анализ ветро-волнового воздействия на состояние водной поверхности участков морской части канала за 2024 г. на основе разработанных совмещенных и сопоставленных среднесуточных и детализированных во времени графиков хода уровней по водомерным постам на характерных километрах канала. Выявлены положения уровней воды в дни наибольшего сгона и построены графики их хода на участках канала. Для прогнозных целей разработан аналитический метод определения значений величины сгона на участках канала при различных уровнях моря, направлениях и силе ветра и других факторах с использованием известных эмпирических зависимостей. Сравнение результатов показало хорошую сходимость расчетных и натурных данных. По совокупности результатов расчетов и их анализа даны рекомендации по оценке сгона воды на канале и их использованию на практике. Выполнен анализ русловых переформирований по материалам гидрографических съемок с построением совмещенных планов участков, планов изменения глубин, совмещенных продольных профилей участков в анализируемые временные периоды. Согласно результатам анализа русловых деформаций даны рекомендации по снижению заносимости участков канала. Сделан вывод о необходимости продолжения дальнейших исследований по уменьшению заносимости канала и повышению устойчивости судового хода.

Ключевые слова: уровни воды, судоходные глубины, сгонные денивеляции, русловые процессы, заносимость канала

Для цитирования: Воронина Ю. Е., Кузьмичев И. К., Ситнов А. Н. Оценка влияния ветро-волновых явлений и русловых деформаций на судоходные глубины Волго-Каспийского морского судоходного канала // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2026. № 1. С. 93–105. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-93-105>. EDN UGFNCH.

Original article

Assessment of the impact of wind-wave phenomena and channel deformations on navigable depths of the Volga-Caspian Sea Shipping Channel

Yulia E. Voronina[✉], Igor K. Kuzmichev, Alexander N. Sitnov

Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia, yulez@yandex.ru[✉]

Abstract. Navigable depths of the Volga-Caspian Sea Shipping Channel are affected by fluctuations in the Caspian Sea level, wind-wave effects and channel deformations associated with, first of all, with the high portability of the channel. In conditions of lowering the level of the Caspian Sea, the depth of the channel is greatly influenced by run-away denovelation and channel drift, which are insufficiently studied in the available scientific works. The necessity of evaluating and developing recommendations to reduce runoff denivelation and channel drift is substantiated. The analysis of the wind-wave effect on the condition of the water surface of the sections of the marine part of the canal for 2024 was carried out. based on the developed combined and compared average daily and time-detailed graphs of the course of the levels at the water measuring posts on the characteristic kilometers of the canal. The positions of the water levels on the days of the greatest run-up are revealed and graphs of their course on the canal sections are plotted. For predictive purposes, an analytical method has been developed for determining the values of run-up in the channel sections at different sea levels, wind directions and strength, and other factors using known empirical dependencies. A comparison of the results showed good convergence of the calculated and field data. Based on the totality of the calculation results and their analysis, recommendations are given for assessing the run-off of water in the canal and their use in practice. The analysis of riverbed transformations based on the materials of hydrographic surveys was carried out with the construction of combined site plans, depth change plans, combined longitudinal profiles of sites in the analyzed time periods. According to the results of the analysis of channel deformations, recommendations are given to reduce the drift of canal sections. It is concluded that it is necessary to continue further research to reduce the skidding of the hull and increase the stability of the ship's course.

Keywords: water levels, shipping depths, downwellings, channel processes, channel sedimentation

For citation: Voronina Yu. E., Kuzmichev I. K., Sitnov A. N. Assessment of the impact of wind-wave phenomena and channel deformations on navigable depths of the Volga-Caspian Sea Shipping Channel. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2026;1:93-105. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-93-105>. EDN UGFNCH.

Введение

Волго-Каспийский морской судоходный канал (ВКМСК) является важной частью международного транспортного коридора «Север – Юг», играет роль связующего звена в единой глубоководной магистрали из Каспийского моря в Азово-Черноморский, Балтийский и Северный бассейны через порты Оля и Астрахань. В России канал – один из крупнейших гидротехнических сооружений, стратегически важный для экономики юга страны объект, состояние которого определяет возможность реализации ряда экономических и геополитических интересов государства.

Современное состояние канала характеризуется недостаточной устойчивостью судового хода, определяемой в первую очередь изменчивостью судоходных глубин, поддержание которых на необходимом уровне обеспечивает безопасные условия судоходства. Основными факторами, влияющими на глубины канала, являются многолетние и сезон-

ные изменения уровней Каспийского моря (УКМ), ветро-волновое воздействие и высокая заносимость канала.

Колебания УКМ в многолетнем ряду, связанные с их периодическими подъемами и понижениями, являются естественной особенностью Каспия в силу разных причин, объединяемых в четыре большие группы: космогеофизические факторы, геолого-геодинамические процессы, гидрометеорологические процессы, антропогенные факторы [1–14].

Сезонный ход уровня моря в основном определяется речным стоком, отличающимся большой межгодовой и внутригодовой изменчивостью, и обусловлен, прежде всего, объемом волжского половодья и его интенсивностью, характеризуемой значительной изменчивостью.

На плавные объемные многолетние и сезонные колебания уровня вод Каспия накладываются резкие непериодические кратковременные сгонно-нагонные колебания, зависящие 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 стонов, которые могут понизить уровень воды локально до 2,5 м и существенно повлиять на судоходные глубины.

На общую картину с колебаниями уровня воды накладывается фактор высокой заносимости канала, определяющийся стоком наносов, выносимых с обширной дельты реки Волги, перемещением донных наносов и размывом многочисленных островов, балок и отвалов от дноуглубительных работ в морской части. В совокупности это определяет непростую ситуацию с судоходными глубинами в акватории канала.

Канал составляют две части – речная и морская. Речная часть ВКМСК организована в рукаве Бахтемир и ее начало считается от 0 км в 21 км ниже Астрахани. Продолжением русла канала на устьевом взморье служит морская часть ВКМСК. Общая протяженность канала 188 км, а граница между речной и морской частью канала условная, и в настоящее время, согласно паспорту канала [15], к речной относится 0–146 км, а к морской – 146–188 км. Продолжительность навигации на канале круглогодичная. В зимний период проводка судов осуществляется с помощью ледоколов.

Примерно с 83-го км канала речной поток идет по искусственной прорези между свалками грунта, наредулированного при производстве дноуглубительных работ. В свалках образовались многочисленные прораны (протоки), а свалки превратились в острова. Острова вытянуты вдоль канала с обеих сторон и возвышаются над меженным уровнем местами на 1 м. На этом участке свалки устойчивые, заросшие камышом и деревьями. До конца морской части канала имеются разные по гидрологическим характеристикам участки (шалыг, суводей, надводных и подводных свалок, многочисленных проранов) с разными скоростями течений, интенсивностью заносимости, донными отложениями, направлением и силой ветра, волнением.

Анализ УКМ (водомерный пост Махачкала) показал, что за последние 15 лет (с 2010 по 2024 г.) уровень понизился $\approx 1,5$ м со средней интенсивностью ≈ 10 см/год, в том числе с большей интенсивностью за последние 2017–2024 гг. (понижение $\approx 1,0$ м с среднегодовой интенсивностью $\approx 13,4$ см/год). Близкие к этим величинам значения понижения уровней воды на наиболее проблемных нижних участках морской части канала (145 км и ниже),

где увеличивается заносимость и скорость течения, что в совокупности ухудшает условия судоходства. Сезонные колебания УКМ синхронны с колебаниями уровней воды на морской части канала.

Для обеспечения судоходных глубин выполняются большие объемы ремонтных дноуглубительных работ с привлечением многих собственных и арендованных единиц технического флота, причем эти объемы резко возросли: за период 2010–2024 гг. они увеличились с 1,9 млн м³ в 2010 г. до 10,1 млн м³ в 2023 г., в 2024 г. – 6,8 млн м³ (с сохранением в плане 2025 г. – около 7 млн м³).

Выявлена динамика изменения объемов ремонтных работ на морской части канала со смещением больших объемов с ранее проблемных 129–140 км на участок от 140–150 до 188 км. Результаты выполненного анализа доказали, что с дальнейшим понижением УКМ будет происходить адекватное снижение уровней на постах 145 км и ниже с одновременным возрастанием объемов дноуглубительных работ и необходимостью принятия научно обоснованных решений по уменьшению заносимости.

В условиях понижения УКМ важными факторами, влияющими на безопасность судоходства, являются ветро-волновые явления, в первую очередь сгон воды и высокая заносимость канала, обусловленная рядом причин, в том числе происходящими русловыми процессами. Этот аспект в части количественной и качественной оценки влияния указанных факторов на судоходные глубины в научнотехнической литературе [16–20] освещен слабо, что определяет актуальность настоящего исследования.

Научная новизна, методы и результаты исследований

Целью исследований является оценка влияния ветро-волновых явлений и русловых деформаций на судоходные глубины ВКМСК, достигаемая решением задач особенностей развития волновых процессов на канале и русловых изменений, связанных с заносимостью канала. Разработаны специфические методы исследования, определяющие его научную новизну.

Анализ ветро-волнового воздействия на состояние водной поверхности участков морской части канала в 2024 г. выполнен на основе разработанных совмещенных и сопоставленных среднесуточных и детализированных с шагом в 6 ч графиков хода уровней по данным автоматических уровенных постов, установленных на 129, 151, 160 и 180 км судового хода. На рис. 1 приведен пример графиков для автоматических уровенных постов 160 км, что позволяет визуально оценить амплитуду колебаний ветровых волн и сгонно-нагонных перекосов водной поверхности.

Воронина Ю. Е., Кузьмичев И. К., Ситнов А. Н. Оценка влияния ветро-волновых явлений и русловых деформаций на судоходные глубины Волго-Каспийского морского судоходного канала

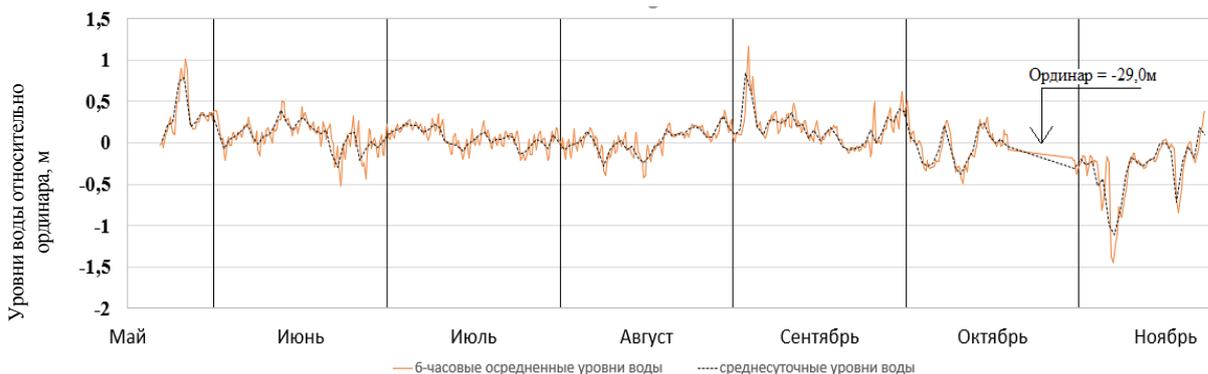


Рис. 1. Совмещенные 6-часовые и среднесуточные графики хода уровней воды в 2024 г. на 160 км канала

Fig. 1. Combined six-hour and average daily graphs of water level changes in 2024 at 160 km of the canal

Оценка совмещенных графиков показала четкую картину наложения ветрового волнения на стонную денивеляцию участка при достаточно длительном (более двух суток) устойчивом с шагом в 6 ч понижении уровня относительно его среднесуточного значения (линия последнего осреднена полиномом

6-й степени). На примере 160 км максимальная стонная денивеляция составила 1,03 м (рис. 2).

На ВКМСК ветровые условия меняются вдоль продольной оси канала, где создаются различные виды течений. На рис. 3 приведены общие схемы течений, образующихся под действием ветра.

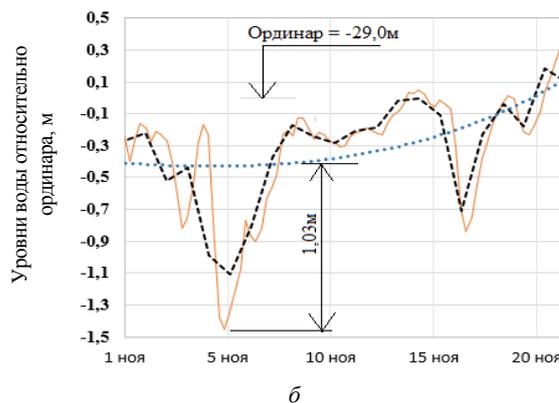
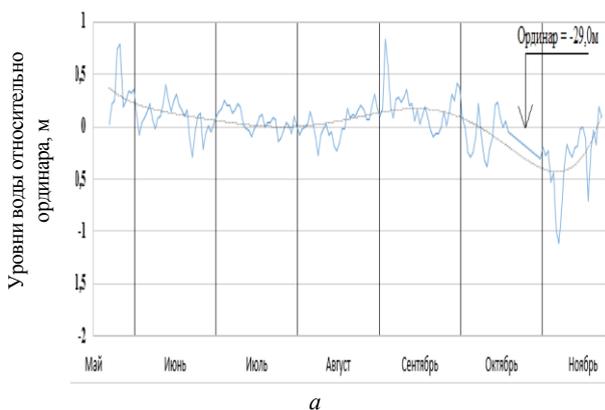


Рис. 2. Расчетная схема определения максимальных стонных денивеляций на 160 км канала в 2024 г.:

- a* – аппроксимационная кривая полинома 6-й степени по среднесуточным уровням воды;
- б* – укрупненная схема определения стонных явлений в ноябре

Fig. 2. Calculation scheme for determining maximum downwellings for 160 km of the canal in 2024:

- a* – approximation curve of the 6th degree polynomial for average daily water levels;
- б* – enlarged scheme for determining downwelling events in November

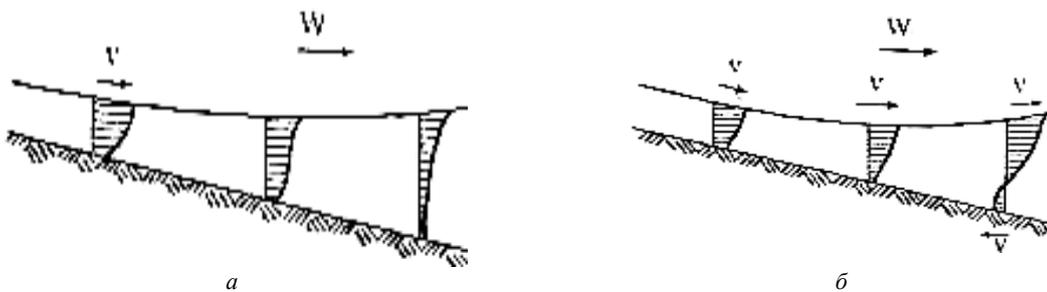


Рис. 3. Схемы стонно-нагонных течений на ВКМСК: *a* – случай I; *б* – случай II

Fig. 3. Schemes of surge currents at VCSSC: *a* – case I; *б* – case II

В случае I (рис. 3, а) ветер направлен вниз под углом к направлению течения. Здесь характерно понижение уровня в верхней части канала, особенно в зоне выклинивания подпора, увеличение скоростей течения у поверхности и повышение отметок в месте выклинивания подпора уровня моря. В зоне ниже ВКМСК возможно образование небольшого обратного уклона, однако не настолько значительного, чтобы вызвать обратные течения у дна. Образующиеся при этом течения являются сточно-дрейфовыми или просто дрейфовыми.

В случае II (рис. 3, б) направления ветра и течения совпадают. В верхней части канала наблюдаются сточно-дрейфовые течения, а в нижней образуется обратный уклон, который, в отличие от пер-

вого случая, уже настолько значителен, что приводит к возникновению обратных течений у дна. Таким образом, в нижней части ВКМСК могут иметь место смешанные течения, способствующие перемещению донного грунта.

По данным об уровнях в дни наибольшего сгонного понижения (анализ 22.06.2024 и 05.11.2024) построены графики их хода на участке 129–180 км канала (рис. 4).

Анализ полученных материалов с учетом метеоданных по направлению и силе ветра, соотношению направления ветра и судового хода позволил разработать графики изменения величины сгона на характерных километрах ВКМСК при различных уровнях воды и направлении и силе ветра (рис. 5, 6).

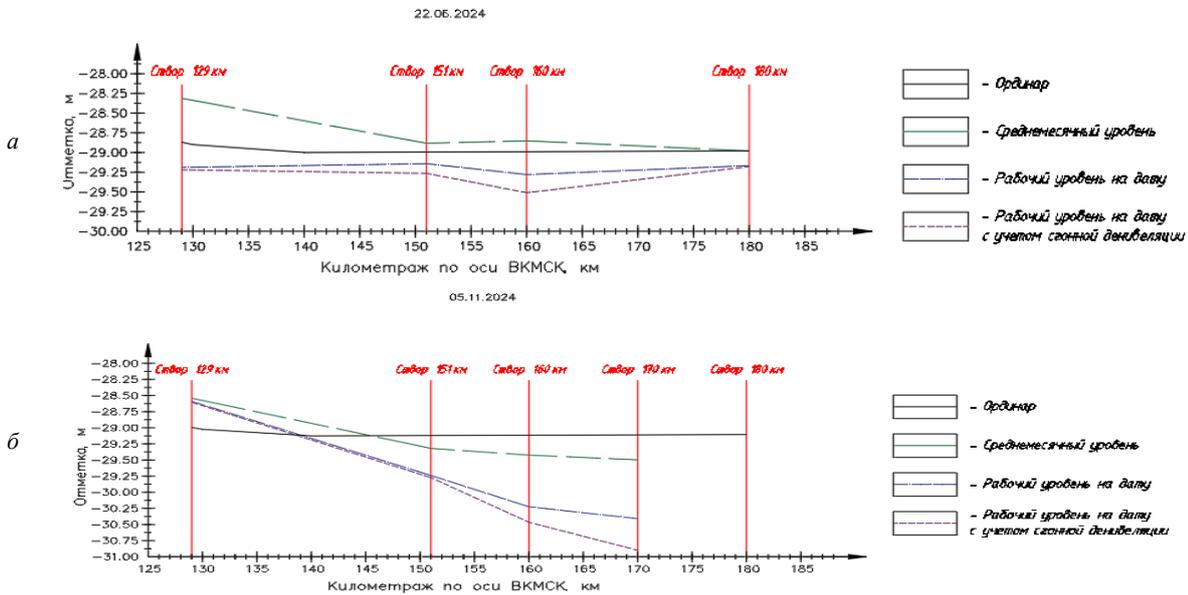


Рис. 4. Положение уровней воды по длине морской части ВКМСК: а – на 22.06.2024; б – на 05.11.2024

Fig. 4. Position of water levels along the length of the marine part of the VCSSC: а – on 22.06.2024; б – on 05.11.2024

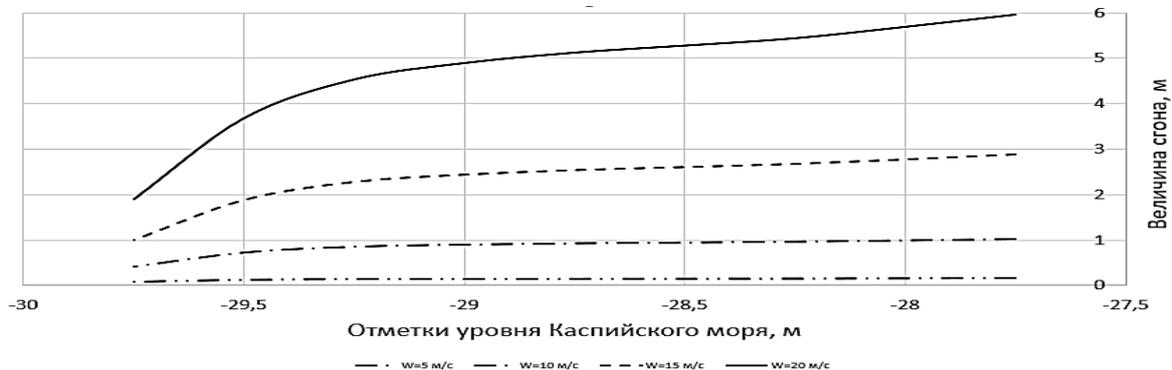


Рис. 5. Графики изменения величины сгона на 129 км ВКМСК при различных уровнях воды и северо-западном направлении ветра

Fig. 5. Graphs of changes in the magnitude of the surge at 129 km of the VCSSC at different water levels and northwest wind direction

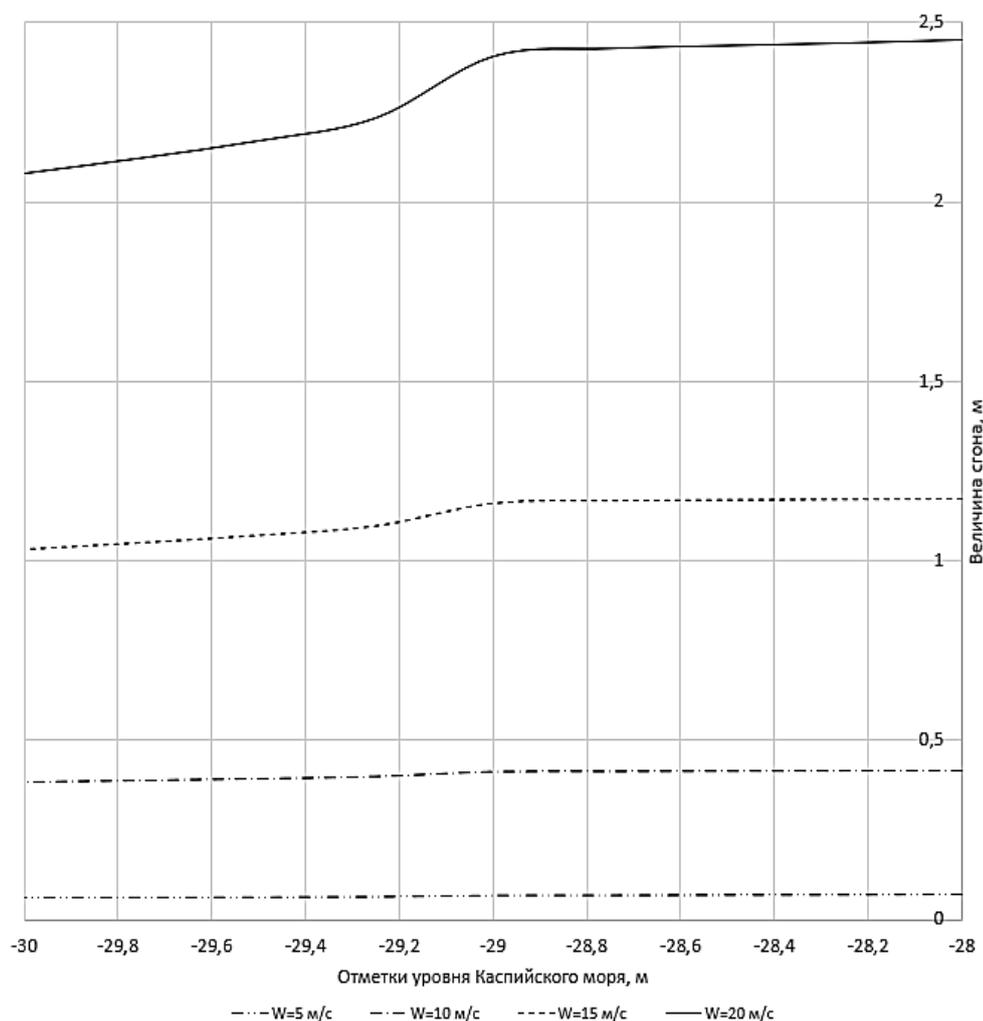


Рис. 6. Графики изменения величины сгона на 160 км ВКМСК при различных уровнях воды и западном направлении ветра

Fig. 6. Graphs of changes in the magnitude of the surge at 160 km of the VCSSC at different water levels and westerly wind direction

Построение графиков основывается на аналитическом методе расчета величины сгонных денивелиций применительно к условиям северо-западной части Каспия с использованием эмпирической зависимости определения значения сгона-нагона уровня воды (формула А. В. Караушева) [20]:

$$\Delta h = (3 + 10h_b) \cdot 10^{-8} \frac{S}{T_{cp}} W^2 \cos \alpha, \quad (1)$$

где S – расстояние между пунктами сгона и нагона, м; T_{cp} – средняя расчетная глубина по длине, м; α – угол между направлением ветра и направлением, по которому измеряется расстояние, град; W – скорость ветра над водной поверхностью, м/с; h_b – средняя расчетная высота волны на рассматриваемом участке, м.

Входящие в формулу (1) значения S , T_{cp} , α определяются по картографическим материалам

Каспийского моря, скорость ветра над водной поверхностью, наблюдаемая по флюгеру береговой станции, согласно рекомендациям А. П. Браславского [21], с учетом скорости ветра при длительном действии и при порывах; расчетная высота волны h_b – по формуле Н. А. Лабзовского [22]. Согласно общему перепаду уровней Δh находятся составляющие его величины нагона Δh_n и сгона Δh_{cg} .

Вышеприведенный подход позволяет прогнозировать изменение величин сгона воды на ВКМСК при понижении УКМ и отступлении береговой линии в сторону моря. В результате исследования произведено сравнение параметров сгонных явлений на участках ВКМСК (табл. 1), согласно которому можно сделать вывод о хорошей сходимости расчетных и натурных данных, расхождение между ними не превышает 5 %.

Таблица 1

Table 1

Сравнительные показатели сгонных явлений на участках ВКМСК
Comparative indicators of run-off events at the sites of the VCSSC

Показатели		Километраж судового хода на ВКМСК	
		129 км	160 км
Расчетная дата		22.06.2024	05.11.2024
Скорость ветра по данным метеостанции, км/ч (м/с)	Длительного действия	43,2 (12)	54 (15)
	При порывах	61,2 (17)	72 (20)
Расчетная скорость ветра, м/с		13,6	15,2
Направление ветра		Северо-западный	Западный
Дальность разгона от берега до ВКМСК, км	По участку сгона	20 (северо-западный)	30 (западный)
	По участку разгона	627 (юго-восточный)	275 (восточный)
Значения сгонных денивеляций, м	Натурные данные	1,07	1,03
	Расчетные	1,03	1,08
Расхождение результатов, %		3,7	4,6

По совокупности результатов расчетов и их анализа сделаны основные выводы:

- наибольшие сгоны наблюдаются в средней открытой части канала;
- для формирования сгона наиболее неблагоприятные направления ветра на ВКМСК: на участке 129–151 км судового хода – северо-западный и северный, на участке 151–188 км – западный;
- понижение уровня воды в Каспийском море приводит к удлинению речного участка ВКМСК и изменению величин сгона-нагона ввиду ограничения бровками все более протяженного участка и, как следствие, гашения ими возникающих колебаний водной поверхности на канале;
- в морской части канала с ограниченными бровками влияние сгонных денивеляций сильнее, чем в открытой морской акватории;
- при понижении уровня воды в Каспийском море влияние сгонно-нагонных перекосов несколько осла-

беваает из-за приближения береговой полосы к рассматриваемым участкам канала.

Анализ русловых переформирований и причин деформации на ВКМСК, влияющих на глубины канала, выполнен на примере одного из наиболее проблемных участков канала (148–152 км судового хода). Основой для анализа послужили планы съемок, для выбора которых назначены критерии по степени детализации съемок участка во временном разрезе, параметрам работы земснарядов, действию неблагоприятного направления ветра. Это дало возможность установления периода совмещенных планов участка, по которым подсчитан геометрический объем грунта, извлеченного с судового хода, а также оценена доля заносимости, зависящая от русловых процессов, протекающих на канале, конфигурации дна и бровок канала, от действия ветра в рассматриваемый период [23]. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Характеристики периодов съемки 148–152 км судового хода канала для оценки заносимости ВКМСК
Characteristics of the survey periods of 148-152 km of the shipping channel for assessing the sediment load of the VCSSC

Даты совмещенных съемок (2024 г.)	Преобладающее направление ветра	Километраж ВКМСК, км / интенсивность дноуглубительных работ, м ³ /сут / период проведения работ			Километраж ВКМСК, км / период дноуглубительных работ (цветовое условное обозначение)		
		148	149	150	148	149	150
18.03–24.04	Западный	$\frac{2\ 231,3}{\text{м}^3/\text{сут}}$ с 09.04					

Voropa Yu. E., Kuzmichev I. K., Shipov A. N. Assessment of the impact of wind-wave phenomena and channel deformations on navigable depths of the Volga-Caspian Sea Shipping Channel

Окончание табл. 2
 Ending of table 2

Даты совмещенных съемок (2024 г.)	Преобладающее направление ветра	Километраж ВКМСК, км / интенсивность дноуглубительных работ, м ³ /сут / период проведения работ			Километраж ВКМСК, км / период дноуглубительных работ (цветовое условное обозначение)		
		148	149	150	148	149	150
08.06–21.06	Восточный			3 279,17 м ³ /сут весь период			
19.06–04.07	Северо-западный	–	4 165,71 м ³ /сут с 25.06 до 01.07	3 279,17 м ³ /сут до 25.06	–		
		150	151	152	150	151	152
07.11–10.11	Западный		3 707,14 м ³ /сут весь период				
10.11–18.11	Восточный		3 707,14 м ³ /сут весь период	8 416,00 м ³ /сут с 14.11			
18.11–29.11	Восточный	–	3 707,14 м ³ /сут весь период	8 416,00 м ³ /сут весь период	–		

При расчетах объемов переформирования дна использовалась система автоматизированного проектирования с построением цифровой модели рельефа дна по данным гидрографических съемок на разные временные даты. Это позволило получить поверхность, отображающую изменение рельефа дна за исследуемый период, и определить объемы переформирования наносов между двумя цифровыми моделями рельефа дна.

Анализ русловых переформирований на примере

одного из участков (148–150 км ВКМСК) за период 08.06.2024–21.06.2024 на основе разработанного совмещенного плана (рис. 7), планов изменения глубин (рис. 8), совмещенного продольного профиля участка канала (рис. 9) определил, что наблюдается незначительное влияние ветра восточного направления. Высыпки из проток вдоль восточной кромки канала дают плановую заносимость без потери судоходной глубины, а основная аккумуляция наносов наступает вследствие естественного хода русловых процессов.

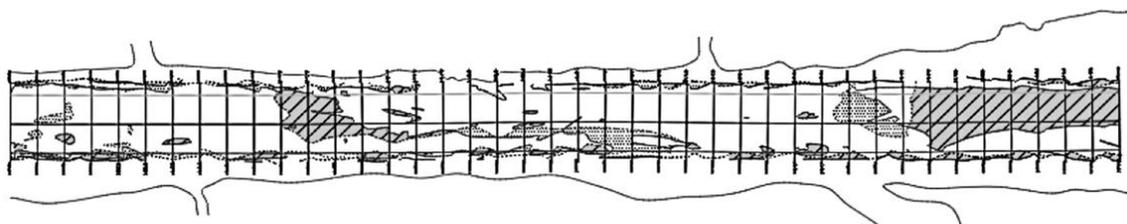


Рис. 7. Совмещенный план участка 148–150 км ВКМСК за период 08.06.2024–21.06.2024

Fig. 7. Combined plan of the 148-150 km section of the VCSSC for the period 08.06.2024-21.06.2024



Рис. 8. План изменения глубин на 148–150 км ВКМСК по данным съемок за период 08.06.2024–21.06.2024

Fig. 8. Depth change plan at 148-150 km of the VCSSC according to survey data from 08.06.2024-21.06.2024

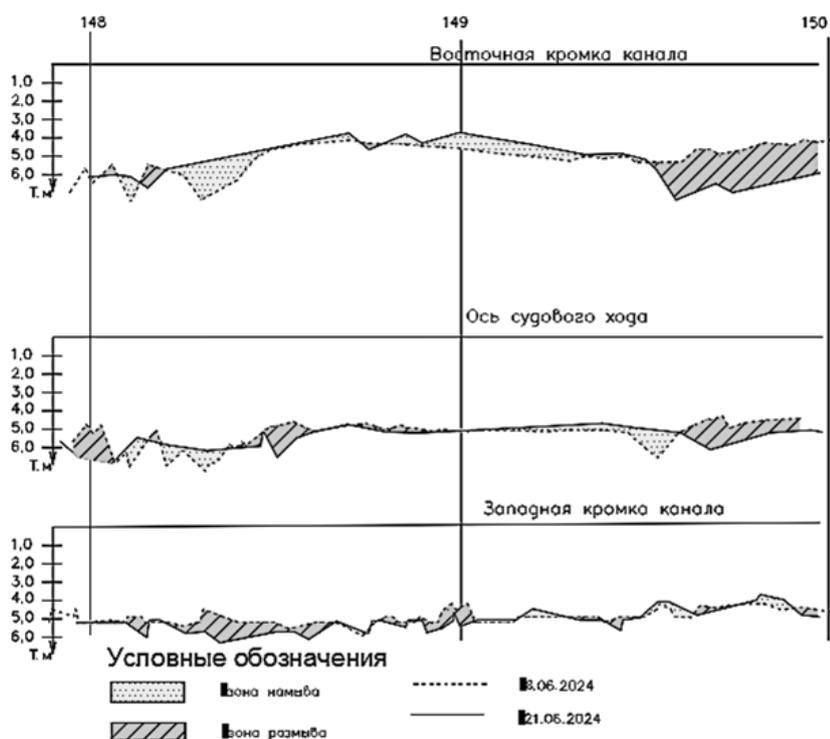


Рис. 9. Совмещенные продольные профили канала за период 08.06.2024–21.06.2024

Fig. 9. Combined longitudinal profiles of the channel for the period 08.06.2024–21.06.2024

Анализ объемов аккумуляции наносов на 148–150 км показал, что в целом за рассматриваемый период участок на уровне судоходных глубин с учетом дноуглубительных работ, проводимых на нем, стабилен. Размыв на 148 км судового хода практически весь аккумулируется ниже на 149 км и лишь незначительная часть наносов движется в зону работы земснаряда.

В период выполнения съемок земснаряд в течение всего времени производит выемку грунта

с интенсивностью 3 279,17 м³/сут (табл. 3) и достигнутая на участке глубина выдерживается со значительным запасом на заносимость. При работе дноуглубительной техники за период 08.06.2024–21.06.2024 на 150-м км извлечено около 46 тыс. м³ грунта. С учетом частичной аккумуляции наносов заносимость от естественного размыва 148 км судового хода составляет 75 % от общего размыва на рассматриваемом участке.

Таблица 3

Table 3

Определение объема грунта зон отложения наносов и размыва дна в расчетные периоды

Determination of soil volume in sediment deposition and bottom erosion zones during estimated periods

Участок, км	Намыв, м ³	Размыв, м ³
<i>18.03.2024–24.04.2024</i>		
148,0–148,5	9 868,67	2 400,58
148,5–149,0	1 619,73	8 851,56
149,0–149,5	9 186,35	3 635,21
149,5–150,0	9 689,72	1 101,30
<i>08.06.2024–21.06.2024</i>		
148,0–148,5	22 797,49	29 012,27
148,5–149,0	10 999,94	21 820,99
149,0–149,5	22 427,93	9 346,35
149,5–150,0	8 008,39	74 803,43
<i>19.06.2024–04.07.2024</i>		
149,25–149,6	19 502,00	6 541,40

Участок, км	Намыв, м ³	Размыв, м ³
<i>07.11.2024–10.11.2024</i>		
150,0–150,5	21 125,15	3 414,77
150,5–151,0	27 356,26	11 605,61
151,0–151,5	18 964,97	7 385,33
151,5–152,0	11 578,45	5 146,54
<i>10.11.2024–18.11.2024</i>		
150,0–150,5	10 444,72	11 601,08
150,5–151,0	27 126,23	12 032,14
151,0–151,5	1 834,34	58 648,32
151,5–152,0	5 435,75	37 581,47
<i>18.11.2024–29.11.2024</i>		
151,0–151,5	23 860,02	36 299,24
151,5–152,0	9 051,22	90 016,13

На 150-м км на конец периода 21.06.2024 переуглубление достигает 0,42 м. С учетом тенденции заносимости с интенсивностью 4 мм/сут при западном и восточном ветрах участок может быть стабилен более чем на 3 месяца.

Согласно результатам анализа деформаций исследуемого участка 148–152 км эффективность дноуглубительных работ невысокая ввиду большого объема аккумуляции наносов на канале по отношению к извлекаемому объему грунта. Основные рекомендации по снижению заносимости на основе анализа деформаций исследуемого участка:

- отказ от отвала грунта на западную бровку для уменьшения скорости течения и создания возможности успокоения потока при растекании за западную кромку как наиболее близко расположенную к береговой полосе Каспийского моря и в меньшей степени влияющую на заносимость судового хода;

- ежегодный мониторинг ветрового воздействия по периодам продолжительностью в две недели, что позволит более рационально перераспределять во времени расстановку земснарядов, когда наступают наиболее существенные ветровые воздействия на заносимость отдельных участков;

- при ремонтных дноуглубительных работах целесообразно проводить переуглубления крайних траншей на величину порядка 0,5 м для аккумуляции наносов, поступающих в канал с забровочной полосы;

- на участке ниже 150 км судового хода следует формировать сплошной укрепленный отвал вдоль всей восточной бровки канала с незначительными разрывами для пропуска рыбы, что позволит сни-

зить не только заносимость наносами, поступающими с восточной стороны Каспия, но и погасить ветровые волны, возникающие на море, а также уменьшить сгонно-нагонные колебания;

- на ограниченных бровками участках морской части ВКМСК реализовать и поддерживать ряд действующих и проектируемых подводных каналов для отвода наносов и корректировки направления и скорости течения.

Заключение

Приведенные в статье результаты по оценке влияния ветро-волновых явлений и русловых деформаций на судоходные глубины и рекомендации по снижению их негативного характера, связанного с уровнем режимом воды на ВКМСК и изменением положения дна, предназначены для использования в практике эксплуатации канала. В условиях продолжающегося понижения УКМ фактор заносимости канала (основной элемент происходящих русловых деформаций) приобретает первостепенные значения и рекомендации по уменьшению его влияния. Несмотря на множество выполненных ранее научно-исследовательских работ, для получения полной картины заносимости канала необходимо рассмотрение более протяженных участков морской части, находящихся в свободной от бровок акватории моря, использование современных вычислительных комплексов и программных средств для решения прикладных задач повышения устойчивости судового хода на проблемных участках канала и других вопросов.

Список источников

1. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз / под ред. Е. С. Нестерова. М.: Триада лтд, 2016. 378 с.
2. Соловьева Н. Н. Исследование зависимости колебаний уровня Каспийского моря от солнечной актив-

- сти. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2004. 70 с.
3. Шевнин А. Д. Долговременные вариации солнечной и магнитной активности и уровня Каспийского моря // Вод. ресурсы. 1994. Т. 21. № 4. С. 405–409.
4. Тужилкин В. С., Косарев А. Н., Архипкин В. С.,

Никонова Р. Е. Многолетняя изменчивость гидрологического режима Каспийского моря в связи с вариациями климата // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 62–71.

5. Малинин В. Н. Грозит ли Каспию судьба Арала? // Гидрометеорология и экология. 2022. № 69. С. 746–760.

6. Русанов Н. В., Бухарицин П. И., Беззубиков Л. Г. Волго-Каспийский морской судоходный канал – современное состояние проблемы и пути их решения // Междунар. журн. приклад. и фундамент. исслед. 2016. № 4-5. С. 863–871.

7. Георгиевский В. Ю., Цыценко К. В., Шальгин А. Л. Оценка притока поверхностных вод в Каспийское море // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. С. 217–229.

8. Магрицкий Д. В. Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек Каспийского моря // География и регион: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Т. IV. Гидрометеорология. Картография и геоинформатика. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2015. С. 77–84.

9. Гинзбург А. И., Костяной А. Г. Тенденции изменений гидрометеорологических параметров Каспийского моря в современный период (1990-е – 2017 гг.) // Соврем. проблемы дистанцион. зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 195–207. DOI 10.21046/2070-7401-2018-15-7-195-207.

10. Чернова Н. П. Влияние атмосферной циркуляции на пространственно-временную изменчивость сезонных сумм осадков в бассейне Каспийского моря // Вод. ресурсы. 1997. Т. 24. № 2. С. 133–139.

11. Вербицкая О. А. Гидродинамический метод прогноза синоптических колебаний уровня и течений Каспийского моря: дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2004. 175 с.

12. Болгов М. Можно ли прогнозировать колебания уровня Каспийского моря // Наука и жизнь. 2025. № 3. С. 42–50.

13. Русанов Н. В., Бухарицин П. И., Беззубиков Л. Г. Волго-Каспийский морской судоходный канал – современное состояние проблемы и пути решения // Междунар. журн.

приклад. и фундамент. исслед. 2016. № 4-5. С. 863–871.

14. 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: моногр. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 101 с.

15. Паспорт гидротехнического сооружения – Волго-Каспийский морской судоходный канал. Астрахань: Астрахан. филиал ФГУП «Росморпорт», 2023. 55 с.

16. Исследование влияния природных и хозяйственных условий на безопасную эксплуатацию Волго-Каспийского морского судоходного канала: отчет о НИР. М.: Союзморниипроект, 2013. 296 с.

17. Проект проведения ремонтных дноуглубительных работ на акватории Волго-Каспийского морского судоходного канала в период до 2027 года с разработкой природоохранных мероприятий: отчет о НИР. Астрахань: ДАР/ВОДГЕО, 2018. 51 с.

18. Исследование современного состояния гидролого-морфологических процессов по трассе Волго-Каспийского канала и обоснование габаритов реконструкции: отчет о НИР. М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2003. 86 с.

19. Технично-экономические предложения по реконструкции Волго-Каспийского канала: отчет о НИР. М.: Союзморниипроект, 2003. 29 с.

20. Караушев А. В. Сгонно-нагонные явления на водохранилищах и озерах: моногр. Л.: Гидрометеоролог. изд-во, 1960. 216 с.

21. Браславский А. П. Расчет ветровых волн // Тр. Гос. гидролог. ин-та. 1952. Вып. 35 (89). С. 94–158.

22. Дегтярев В. В., Селезнев В. М., Фролов Р. Д. Вод. пути. М.: Трансп., 1980. 328 с.

23. Воронина Ю. Е. Методические подходы оценки заносимости перекатов нижнего бьефа Нижегородской ГЭС и их влияние на обеспечение судоходных глубин участка // Науч. проблемы вод. трансп. 2022. № 72. С. 198–207. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.294>.

References

1. *Vodnyj balans i kolebaniya urovnya Kaspijskogo morya. Modelirovanie i prognoz* [Water balance and fluctuations of the Caspian Sea level. Modeling and forecasting]. Pod redakciej E. S. Nesterova. Moscow, Triada ltd Publ., 2016. 378 p.

2. Solov'eva N. N. *Issledovanie zavisimosti kolebanij urovnya Kaspijskogo morya ot solnechnoj aktivnosti* [Investigation of the dependence of fluctuations in the Caspian Sea level on solar activity]. Saint Petersburg, Izd-vo RGGMU, 2004. 70 p.

3. Shevnin A. D. *Dolgovremennye variacii solnechnoj i magnitnoj aktivnosti i urovnya Kaspijskogo morya* [Long-term variations in solar and magnetic activity and the level of the Caspian Sea]. *Vodnye resursy*, 1994, vol. 21, no. 4, pp. 405–409.

4. Tuzhilkin V. S., Kosarev A. N., Arhipkin V. S., Nikonova R. E. *Mnogoletnyaya izmenchivost' gidrologicheskogo rezhima Kaspijskogo morya v svyazi s variaciyami klimata* [Long-term variability of the hydrological regime of the Caspian Sea due to climate variations]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2011, no. 2, pp. 62–71.

5. Malinin V. N. *Grozit li Kaspiyu sud'ba Arala?* [Does

the Caspian Sea face the fate of the Aral Sea?]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2022, no. 69, pp. 746–760.

6. Rusanov N. V., Buharicin P. I., Bezzubikov L. G. *Volgo-Kaspijskij morskoy sudohodnyj kanal – sovremennoe sostoyanie problemy i puti ih resheniya* [Volga-Caspian Sea Shipping Channel – current state of the problem and ways to solve them]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2016, no. 4-5, pp. 863–871.

7. Georgievskij V. Yu., Cyenko K. V., Shalygin A. L. *Ocenka pritoka poverhnostnyh vod v Kaspijskoe more* [Assessment of surface water inflow to the Caspian Sea]. *Gidrometeorologicheskie aspekty problemy Kaspijskogo morya i ego bassejna*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 2003. Pp. 217–229.

8. Magrickij D. V. *Opasnye gidrologicheskie yavleniya i processy v ust'yah rek Kaspijskogo morya. Geografiya i region* [Dangerous hydrological phenomena and processes in the estuaries of the Caspian Sea. Geography and region]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Vol. IV. Gidrometeorologiya. Kartografiya i geoinformatika. Perm', Izd-vo PGNIU, 2015. Pp. 77–84.

9. Ginzburg A. I., Kostyanoy A. G. *Tendencii izmenenij*

gidrometeorologicheskikh parametrov Kaspijskogo morya v sovremennyj period (1990-e – 2017 gg.) [Trends in changes in hydrometeorological parameters of the Caspian Sea in the modern period (1990s – 2017)]. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 7, pp. 195-207. DOI 10.21046/2070-7401-2018-15-7-195-207.

10. Chernova N. P. Vliyanie atmosfernoj cirkulyacii na prostranstvenno-vremennuyu izmenchivost' sezonnyh summ osadkov v bassejne Kaspijskogo morya [Influence of atmospheric circulation on the spatial and temporal variability of seasonal precipitation amounts in the Caspian Sea basin]. *Vodnye resursy*, 1997, vol. 24, no. 2, pp. 133-139.

11. Verbickaya O. A. *Gidrodinamicheskij metod prognoza sinopticheskikh kolebanij urovnya i techenij Kaspijskogo morya: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk* [Hydrodynamic method of forecasting synoptic fluctuations in the level and currents of the Caspian Sea: dissertation of the Candidate of Physics.-Mat. of Sciences]. Moscow, 2004. 175 p.

12. Bolgov M. *Mozhno li prognozirovat' kolebaniya urovnya Kaspijskogo morya* [Is it possible to predict fluctuations in the Caspian Sea level]. *Nauka i zhizn'*, 2025, no. 3, pp. 42-50.

13. Rusanov N. V., Buharicin P. I., Bezzubikov L. G. *Volgo-Kaspijskij morskoy sudohodnyj kanal – sovremennoe sostoyanie problemy i puti resheniya* [Volga-Caspian Sea Shipping Channel – current state of the problem and solutions]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2016, no. 4-5, pp. 863-871.

14. Buharicin P. I., Rusanov N. V., Bezzubikov L. G. *Volgo-Kaspijskij sudohodnyj kanal – ot staryh principov k novym ideyam. Kompleks meropriyatij po uluchsheniyu funkcionirovaniya Volgo-Kaspijskogo vodno-transportnogo uzla v tret'em tysyacheletii: monografiya* [The Volga-Caspian Shipping Canal – from old principles to new ideas. A set of measures to improve the functioning of the Volga-Caspian waterway and transport hub in the third millennium: a monograph]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 101 p.

15. *Pasport gidrotekhnicheskogo sooruzheniya – Volgo-Kaspijskij morskoy sudohodnyj kanal* [Passport of the hydraulic engineering structure – Volga-Caspian Sea shipping channel]. Astrahan', Astrahanskij filial FGUP «Rosmorport» Publ., 2023. 55 p.

16. *Issledovanie vliyaniya prirodnyh i hozyajstvennyh uslovij na bezopasnuyu ekspluatatsiyu Volgo-Kaspijskogo morskogo sudohodnogo kanala: otchet o NIR* [Study of the influence of natural and economic conditions on the safe operation of the Volga-Caspian Sea Shipping Channel: research report]. Moscow, Soyuzmorniiproekt Publ., 2013. 296 p.

17. *Proekt provedeniya remontnyh dnouglubitel'nyh rabot na akvatorii Volgo-Kaspijskogo morskogo sudohodnogo kanala v period do 2027 goda s razrabotkoj prirodohrannoy meropriyatij: otchet o NIR* [The project of carrying out repair dredging works in the water area of the Volga-Caspian Sea shipping Channel in the period up to 2027 with the development of environmental protection measures: research report]. Astrahan', DAR/VODGEO Publ., 2018. 51 p.

18. *Issledovanie sovremennogo sostoyaniya gidrologomorfologicheskikh processov po trasse Volgo-Kaspijskogo kanala i obosnovanie gabaritov rekonstrukcii: otchet o NIR* [Investigation of the current state of hydrological and morphological processes along the Volga-Caspian Canal route and justification of reconstruction dimensions: research report]. Moscow, Izd-vo MGU imeni M. V. Lomonosova, 2003. 86 p.

19. *Tekhniko-ekonomicheskie predlozheniya po rekonstrukcii Volgo-Kaspijskogo kanala: otchet o NIR* [Technical and economic proposals for the reconstruction of the Volga-Caspian Canal: research report]. Moscow, Soyuzmorniiproekt Publ., 2003. 29 p.

20. Karaushev A. V. *Sgonno-nagonnnye yavleniya na vodohranilishchah i ozerah: monografiya* [Surging phenomena in reservoirs and lakes: a monograph]. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1960. 216 p.

21. Braslavskij A. P. *Raschet vetrovyh voln* [Waterways]. *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta*, 1952, iss. 35 (89), pp. 94–158.

22. Degtyarev V. V., Seleznev V. M., Frolov R. D. *Vodnye puti* [Waterways]. Moscow, Transport Publ., 1980. 328 p.

23. Voronina Yu. E. *Metodicheskie podhody ocenki zanosimosti perekatov nizhnego b'efa Nizhegorodskoj GES i ih vliyanie na obespechenie sudohodnyh glubin uchastka* [Methodological approaches for assessing the drift capacity of the lower reaches of the Nizhny Novgorod hydroelectric power station and their impact on ensuring navigable depths of the site]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2022, no. 72, pp. 198-207. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.294>.

Статья поступила в редакцию 15.09.2025; одобрена после рецензирования 14.01.2026; принята к публикации 16.02.2026

The article was submitted 15.09.2025; approved after reviewing 14.01.2026; accepted for publication 16.02.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Юлия Евгеньевна Воронина – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений; Волжский государственный университет водного транспорта; yulez@yandex.ru

Yulia E. Voronina – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Waterways and Hydraulic Structures; Volga State University of Water Transport; yulez@yandex.ru

Игорь Константинович Кузьмичев – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры управления транспортом; Волжский государственный университет водного транспорта; rector@vsuwt.ru

Igor K. Kuzmichev – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Transport Management; Volga State University of Water Transport; rector@vsuwt.ru

Александр Николаевич Ситнов – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой водных путей и гидротехнических сооружений; Волжский государственный университет водного транспорта; stnv1952@rambler.ru

Alexander N. Sitnov – Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Waterways and Hydraulic Structures; Volga State University of Water Transport; stnv1952@rambler.ru

