

СОВРЕМЕННАЯ МОРФОДИНАМИКА ОСНОВНОГО ДЕЛЬТОВОГО РУКАВА Р. ТЕРЕК (КАРГАЛИНСКИЙ ПРОРЫВ)

А.С. Завадский*, М.А. Самохин, С.Р. Чалов,
Е.А. Тузова, А.А. Куракова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

*az200611@rambler.ru

Поступила в редакцию 01.09.2024

После доработки 11.10.2024

Принята к публикации 10.11.2024

Аннотация. Основными природными факторами, определяющими специфику морфодинамики дельтовых рукавов Терека, являются огромный сток наносов и очень низкая устойчивость русла. По величине объема стока наносов Терек сопоставим с крупнейшими реками нашей страны – Обью, Енисеем, Леной, при том что по объему стока воды в десятки раз уступает им. На протяжении многих столетий человек старался адаптироваться под непредсказуемый характер руслового и водного режима Терека, который неоднократно менял направление своего основного стока после выхода на Прикаспийскую низменность. В статье приводятся результаты последних исследований морфодинамики русла Каргалинского Прорыва – главного современного рукава Терека в дельте, где в настоящее время концентрируется более 90% общего стока воды и наносов. Дается оценка изменчивости темпов и направленности русловых деформаций по его длине, характера влияния колебаний уровня Каспийского моря на динамику русла. Также освещены вопросы эффективности гидротехнического регулирования русла Каргалинского Прорыва, направленного на снижение негативного воздействия гидрологических процессов на приречные территории.

Ключевые слова: дельта, Терек, русловые процессы, продольный профиль, размывы берегов, уровень Каспийского моря

ВВЕДЕНИЕ

История формирования гидрографической сети дельты Терека тесно связана с колебаниями уровня Каспийского моря (основного базиса эрозии бассейна реки). Механизм образования, развития и деградации основных (магистральных) рукавов дельты Терека хорошо изучен и описан в литературе (Байдин, 1971; Алексеевский и др., 1987; Михайлов, 1997; Горелиц, Землянов, 2011). Изменение направления основного стока обычно происходило в виде резкой смены течения, вызванной утратой гидравлической выгоды положения главного рукава и повышением отметок его дна над окружающей территорией вследствие направленной аккумуляции наносов. На современном этапе основной дельтовый рукав Терека представлен Каргалинским Прорывом (также называемым Новым Терекон) –

наиболее южным положением главного русла за последние 500 лет (рис. 1).

История формирования Каргалинского Прорыва берет начало в июне 1914 г. С целью предупредить затопление г. Кизляра через созданный прокоп берегового вала правого берега был осуществлен «предупредительный искусственный сброс терских вод, когда по реке проходил катастрофический паводок с максимальным расходом воды примерно 0,1%» (Байдин и др., 1971). Пройдя несколько циклов развития, русло Каргалинского Прорыва стало основным магистральным рукавом, в то время как сток по остальной сети дельтовых рукавов в настоящее время поддерживается преимущественно за счет его гидротехнического перераспределения гидроузлами, наиболее крупным



Рис. 1. Реконструкция положения основных дельтовых рукавов реки Терек с XVII в. (по Акаев и др., 1996)

Fig. 1. Reconstruction of the position of the main delta branches of the Terek River since the XVII century (according to Akaev et al., 1996)

из которых является Каргалинский гидроузел, распределяющий сток воды в вершине дельты.

На протяжении XX в. общая протяженность Каргалинского Прорыва существенно изменялась в процессе естественного развития и мероприятий по его антропогенному преобразованию. В настоящее время она составляет около 105 км (от створа Каргалинского гидроузла до внешнего края устьевых бара). В 1977 г. было проведено искусственное спрямление устьевых участка через Аграханский полуостров (до этого основной дельтовый рукав Терека впадал в Аграханский залив), в результате чего весь сток Каргалинского Прорыва был направлен непосредственно в Каспийское море. Основной задачей такого спрямления было уменьшить длину реки, увеличить уклоны и за счет этого снизить глубину и частоту затопления приречных территорий. Результатом разработки спрямляющей прорези стало формирование устьевых конуса выноса (бара), конфигурация и динамика которого определялись реакцией эрозионно-аккумулятивных процессов на колебания уровня Каспийского моря (УКМ) (рис. 2).

Современный цикл перестройки гидравлического и руслового режима Каргалинского Прорыва берет начало на рубеже XX–XXI вв. и связан с резким снижением УКМ с отметок -27.0 м БС до современных -29.0 м БС, что способствовало интенсивному врезанию потока на устьевом участке. Выше по течению механизм адаптации русла Каргалинского Прорыва к понижению главного базиса эрозии более сложен и внешне менее выражен. Некоторые исследователи до последнего времени придерживались мнения о сохранении на устьевом участке Каргалинского Прорыва тенденций к аккумуляции наносов, снижению транспортирующей способности потока, поднятию отметок дна русла (Горелиц, Землянов, 2013; Воробьев и др., 2015). Однако, начиная с середины нулевых годов XXI в., направленность этих процессов сменилась на обратную. Это подтверждается результатами проведенных в 2018–2020 гг. комплексных экспедиционных исследований и последующего анализа горизонтальных и вертикальных русловых деформаций.



Рис. 2. Изменения уровня Каспийского моря на протяжении XX — начала XXI вв. (1900–2024 гг.)

Fig. 2. Changes in the level of the Caspian Sea during the twentieth and early twenty-first centuries (1900–2024)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу ретроспективного анализа плановых изменений русла Каргалинского Прорыва легли собранные и систематизированные в виде ГИС-проекта картографические материалы и данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). В качестве наиболее ранних спутниковых изображений использовались монохромные космические снимки «КН-4А» 1965 г., доступные в настоящее время на коммерческой основе через веб-интерфейс архива Геологической службы США (USGS) “EarthExplorer”. Также было подобрано 45 мультиспектральных космических снимков за период 1972–2020 гг., полученных со спутников “Sentinel” и “Landsat”. Таким образом, временной интервал, за который имелись достоверные характеристики планового положения русла Каргалинского Прорыва, составил 55 лет. Этот временной период был разделен на два интервала: первый — с 1965 по 2010 г., отражающий исторический период развития русла Каргалинского Прорыва в условиях интегрального влияния естественных (цикличность гидролого-климатических характеристик, колебания уровня Каспийского моря) и антропогенных (гидротехническое регулирование русла, изменение расположения устьевых участка) факторов; второй — с 2010 по 2020 г., характеризующий современную динамику русла в условиях фиксированного сочетания внешних факторов (направленное снижение уровня Каспийского моря, отсутствие масштабных русловыправительных мероприятий). Количественная характеристика темпов горизонтальных русловых деформаций пу-

тем сопоставления разновременных космических изображений была получена для 117 участков.

Оценка темпов вертикальных русловых деформаций и их изменения по длине реки была проведена на основе сопоставления продольных профилей водной поверхности и дна реки за два временных интервала — 2005–2006 гг. (русловые съемки экспедиционной партии МГУ им. М.В. Ломоносова) и инженерные изыскания 2019–2020 гг. Было установлено (рис. 3), что прослеживается устойчивая тенденция к размыву русла на устьевом участке — 74–96 км (за исключением нижнего 8-километрового участка прорези через Аграханский полуостров и устьевых бара, где преобладают аккумулятивные процессы). Особо выделяется участок Шавинского разветвления (450–58 км), где эрозионно-аккумулятивные процессы носят разнонаправленный характер. Вертикальные деформации продольного профиля объясняются изменениями, происходящими как в процессе местных русловых переформирований, так и под влиянием внешних факторов. Ключевым здесь выступает фактор временной изменчивости уровня приемного водоема — Каспийского моря (УКМ). Влияние многолетнего хода УКМ на продольный профиль нижнего 40–50-километрового участка Каргалинского Прорыва четко прослеживается при сравнении профилей дна за период с 1977 г. (рис. 4). Отмечается устойчивая тенденция врезания русла при циклах понижения уровня Каспийского моря и, наоборот, аккумуляции наносов при обратном многолетнем ходе уровня. Осредненная амплитуда колебания отметок дна при этом может достигать 2–3 м.

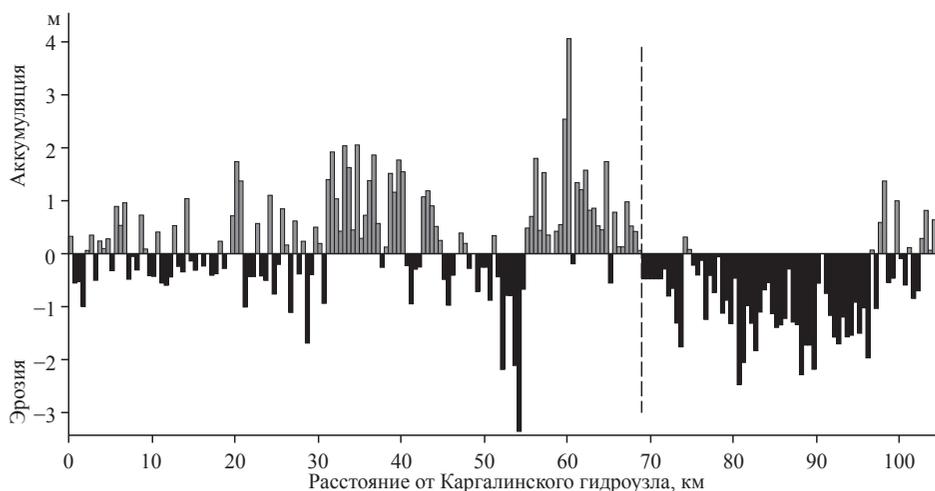


Рис. 3. Направленность вертикальных эрозионно-аккумулятивных процессов в русле Каргалинского Прорыва за 2005–2019 гг. Пунктирная линия — граница смены направленности вертикальных русловых деформаций
Fig. 3. The direction of vertical erosion-accumulative processes in the Kargalinsky channel in 2005-2019. The dotted line is the boundary of the change in the direction of vertical channel deformations

МОРФОДИНАМИКА РУСЛА КАРГАЛИНСКОГО ПРОРЫВА НА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ

Участок от Каргалинского гидроузла до Шавинского разветвления (0–40 км)

Верхний 40-километровый участок Каргалинского Прорыва представлен преимущественно относительно прямолинейным руслом, сформированным, в том числе, серией техногенных спрямлений. Последние из них были выполнены в 2005–2006 гг. на 7–12.5 км. Такое гидротехническое регулирование позволило заметно уменьшить эрозионное воздействие потока на систему противопаводковых валов. В настоящее время спрямившие русло каналы активно расширяются за счет двусторонней боковой эрозии, сохраняя при этом прямолинейные очертания. Староречья интенсивно заносятся песчаными наносами, чем активно пользуются коммерческие организации и частные лица для добычи песчаных строительных материалов.

Направленность вертикальных деформаций на верхнем участке определяется смещением крупных грядовых форм руслового рельефа и носит преимущественно циклический характер. При этом амплитуда колебания отметок дна достигает 6 м между локальными плёсовыми ложинами и протяженными перекатными участками. Последние являются очагами формирования ледовых заторов, вызывая дополнительное повышение уровней воды, способное спровоцировать прорывы противопаводковых валов.

С начала XXI в. рассматриваемый участок в целом является зоной транзита наносов и характеризуется относительно устойчивым продольным профилем. По мере приближения к Шавинскому

разветвлению (32–40 км) отмечается преобладание аккумулятивных процессов в русле, где за 2006–2019 гг. отметки дна в среднем повысились на 0.7–0.9 м (рис. 3). Частично это объясняется повышенным поступлением продуктов размыва берегов на трех крупных изгибах русла — последних сохранившихся в естественном состоянии излучинах Каргалинского Прорыва. Проект их спрямления с целью снижения эрозионной нагрузки на береговую зону и понижения отметок дна был реализован в начале XXI в. Однако спрямляющие каналы были законсервированы и по состоянию на 2023 г. не введены в эксплуатацию (рис. 5).

Гудийско-Шавинское разветвление (40–58 км)

До конца 30-х гг. XX в. гидросеть Каргалинского Прорыва представляла собой совокупность озер и плавней, соединенных слабовыраженными русловыми протоками. Наиболее характерно это было для участка современного Гудийско-Шавинского разветвления, на месте которого располагались обширные озерно-болотные угодья. Интенсивное снижение уровня Каспийского моря в 30–60-х гг. XX в. способствовало врезанию водотоков Каргалинского Прорыва, формированию выраженной русловой сети и консолидации стока воды и наносов в 1–2 основных рукавах. Этому также способствовали гидротехнические мероприятия по ограничению русловой части Каргалинского Прорыва берегозащитными и противопаводковыми валами.

Наиболее морфологически сложным оставался Гудийско-Шавинский участок, еще до середины 60-х гг. XX в. сохранявший сложную систе-

Рис. 4. Изменение положения продольного профиля дна Каргалинского Прорыва на участке 58–105 км в условиях колебания уровня Каспийского моря (за 1976–1987 гг. (Никулин и др., 1989)): 1 – 1976 г.; 2 – 1978 г.; 3 – 1979 г.; 4 – 1983 г.; 5 – 1987 г.; 6 – 2005 г.; 7 – 2019 г. (а – выходы в русле кровли трудноразмываемых пород; б – зона смены врезания на аккумуляцию наносов к 2019 гг.)

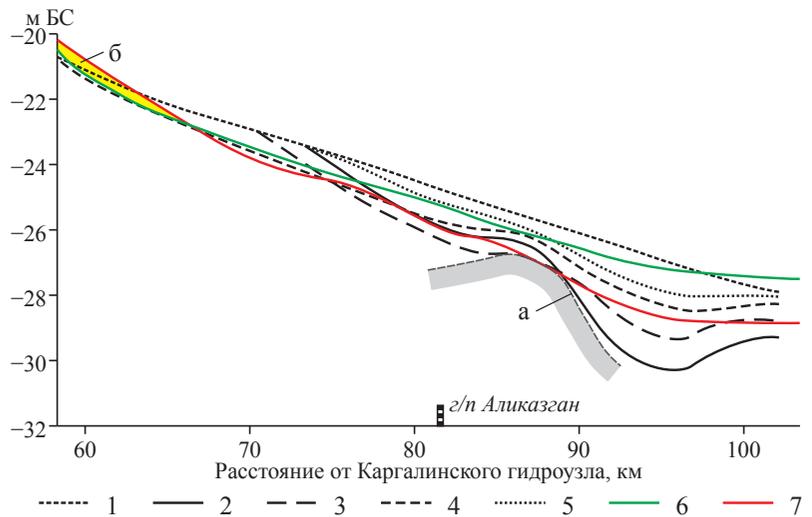


Fig. 4. The change in the position of the longitudinal profile of the bottom of the Kargalinsky channel in the 58-105 km section under conditions of fluctuations in the level of the Caspian Sea (for 1976-1987 (Nikulin et al., 1989)): 1 – 1976; 2 – 1978; 3 – 1979; 4 – 1983; 5 – 1987; 6 – 2005; 7 – 2019 (a – exits in the bed of the roof of hard-to-erode rocks; b – zone of change of embedding to sediment accumulation by 2019)

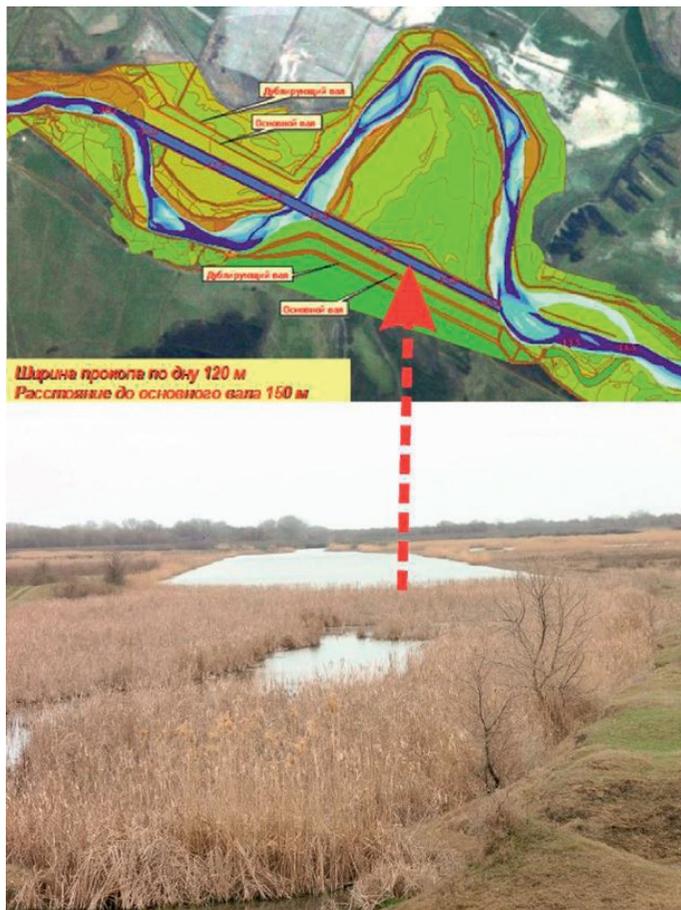


Рис. 5. «Законсервированное» спрямление русла на 26.5–31.0 км (фото 2019 г.)

Fig. 5. “Canned” straightening of the riverbed by 26.5-31.0 km (photo 2019)

му рукавов и проток, соединяющих крупные озерные понижения. Постепенно произошло объединение водотоков в два основных рукава, разделенных крупным Шавинским островом, а ниже по течению – системой озер Бол. Кузьмино – Новое. В результате сформировался протяженный участок раздвоенного русла, представленного более полноводным левым рукавом – Гудийским Банком и правобережным Шавинским Банком. Оба рукава, ограниченные в своем развитии противопаводковыми валами, формировали серии адаптированных (благодаря валам) излучин, вершины которых смещались преимущественно в продольном направлении. В пределах основного Гудийского Банка размывы берегов на незащищенных участках достигали 2–3 м/год, а для борьбы с эрозионными процессами проводились масштабные берегозащитные мероприятия. Остров Шавинский активно использовался в сельскохозяйственных целях и также имел систему противопаводковых и берегозащитных сооружений (преимущественно в верхней части разветвления).

Двухрукавная система разветвления с абсолютным (до 90–95%) преобладанием стока по Гудийскому Банку устойчиво функционировала еще в начале XXI в., после чего стали проявляться тенденции гидролого-морфологической трансформации русловой сети разветвления. Основным фактором, приведшим к перераспределению расходов воды в Шавинском разветвлении, стала аккумуляция наносов в пределах русла Гудийского Банка (рис. 6). Поступавшие на протяжении второй половины XX в. вместе с

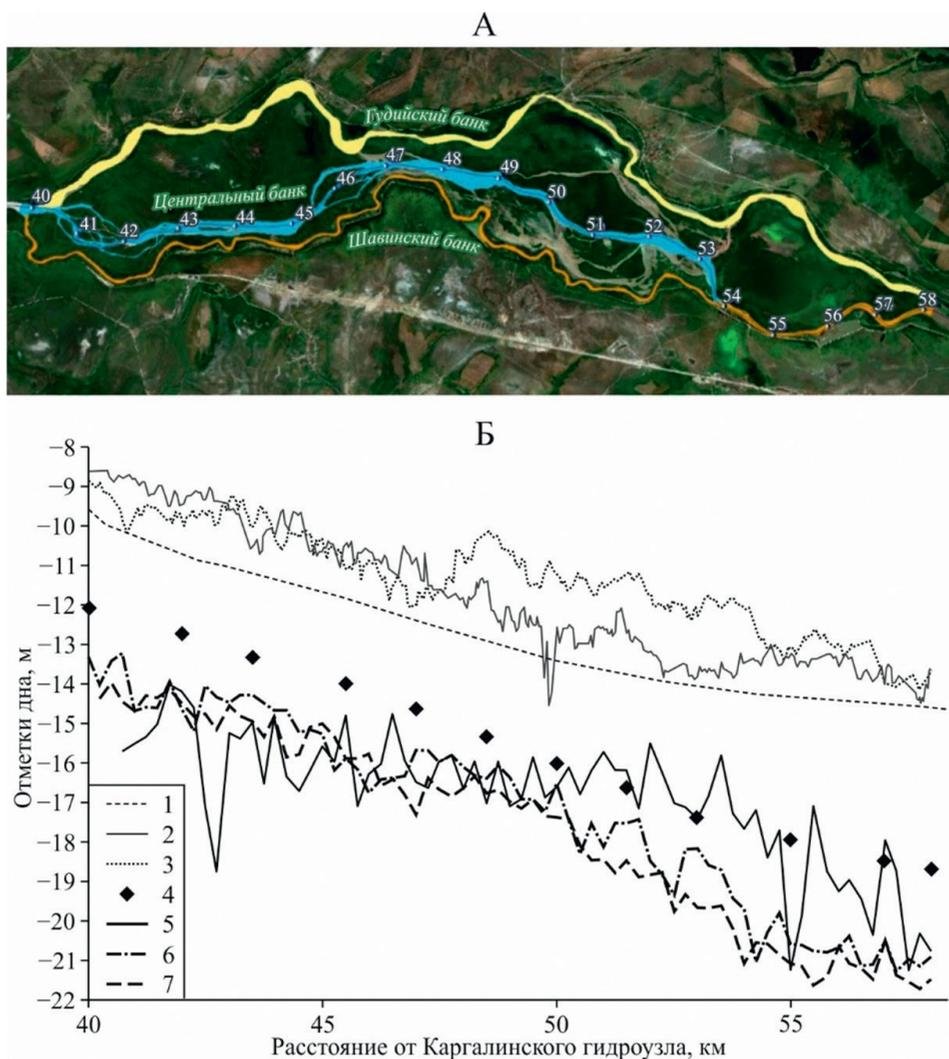


Рис. 6. Современный вид Шавинского разветвления (А) и его гидролого-морфологические характеристики (Б): 1 – расчетные значения уровня воды 1%-ной обеспеченности; 2, 3 – продольные профили гребней лево-бережных и правобережных противопаводковых валов; 5 – продольные профили дна Гудийского Банка в 2005 г. и отметки его русла в 2020 г. (4); продольные профили дна Центрального рукава в 2019 г. (6) и Шавинского Банка в 2019 г. (7)

Fig. 6. Modern view of the Shavinsky fork (A) and its hydrological and morphological characteristics (B): 1 – calculated values of the water level of 1% security; 2, 3 – longitudinal profiles of the ridges of left-bank and right-bank flood control shafts; 5 – longitudinal profiles of the bottom of the Gudian Bank in 2005 and the marks of its channel in 2020 (4); longitudinal profiles of the bottom of the Central Arm in 2019 (6) and the Shavinsky Bank in 2019 (7)

основным стоком воды наносы повышали отметки дна, постепенно сформировав поперечный уклон в сторону правобережного пойменного массива, где стал разрабатываться новый (Центральный) рукав через Шавинский остров.

Следующим циклом переформирования стало перераспределение стока воды в правобережную часть разветвления – Шавинский Банк. Этот процесс наиболее полно проявлялся на фоне постепенного развития русла центрального рукава и деградации Гудийского Банка (рис. 7), в который

вода начинает поступать только на пиках многоводных фаз водного режима. Если в 2006 г., до разработки Центральной протоки, распределение расходов воды между Шавинским и Гудийским Банками было в соотношении 7/93% (табл. 1), то в 2019 г. в Шавинский Банк поступало 46% суммарного расхода воды, в Центральный рукав – 43%, в Гудийский Банк – 11%.

В результате русловая обстановка в центральной и правобережной частях Шавинского разветвления кардинально изменилась. Уклон водной по-

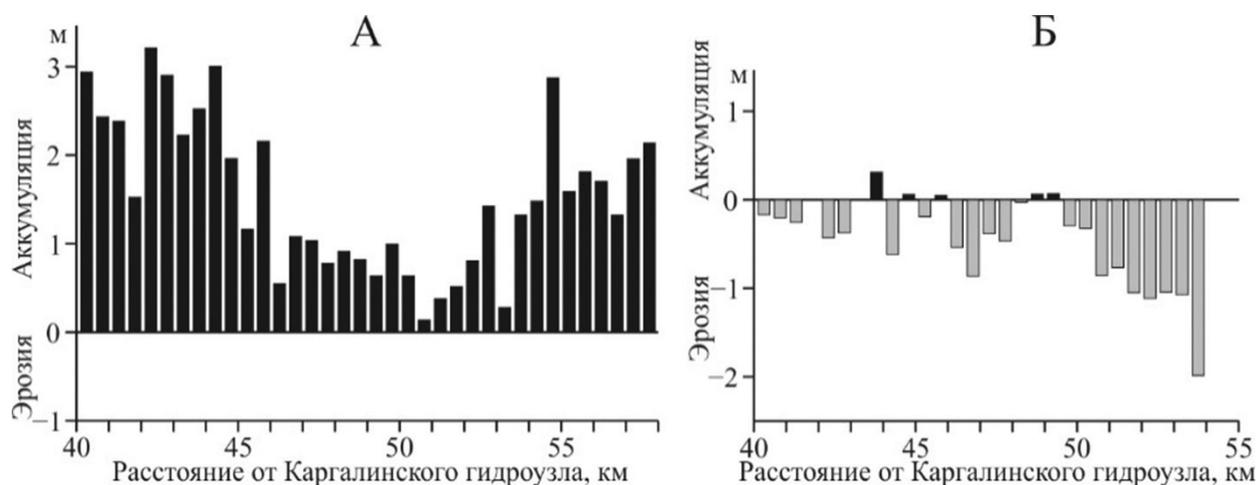


Рис. 7. Направленность эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах Гудийского (А) и Шавинского Банка (Б)

Fig. 7. The direction of erosion-accumulative processes within the Gudian (A) and Shavinsky Bank (B)

верхности в пределах относительно прямолинейной Центральной протоки составил 0.38–0.41‰, что примерно в 1.5 раза больше, чем по руслу Гудийского Банка. Одновременно отчетливо проявилась активизация правобережного Шавинского Банка, сопровождаемая интенсивными горизонтальными деформациями и размывами дна. Последние стали представлять серьезную опасность для системы противопаводковых валов, окаймляющей правобережье Шавинского разветвления. В 2019 г. здесь было выявлено 39 эрозионных участков, в пределах которых средние и среднемаксимальные скорости отступления береговых бровок составили – 1.8 и 3.4 м/год, а общая протяженность размываемых берегов – 34% от общей протяженности береговой линии Шавинского Банка (рис. 8).

Происшедшие русловые переформирования привели к резкому ухудшению работы водозаборных сооружений, расположенных в левобережном Гудийском Банке. Обсыхание водоподводящих участков стало фиксироваться даже при уровнях воды, близких к среднемноголетним. Попытка оживить водный сток по системе Гудийского Банка и стабилизировать подачу воды к головным сооружениям водоотводных каналов была предпринята в 2019–2020 гг. Были выполнены дноуглубительные работы объемом более 1 млн м³ на протяжении 15 км (по Гудийскому Банку от начала Шавинского разветвления). Это позволило кратковременно восстановить подачу воды к истоку Зеньковского канала при меженных уровнях, однако уже через год отметки дна на всем протяжении Гудийского Банка вернулись к бытовым (до дноуглубительных работ), что полностью свело на нет затраченные усилия.

При этом следует отметить реакцию русла в пределах верхней части Шавинского разветвления на временное увеличение пропускной способности Гудийского Банка благодаря дноуглубительным работам. Искусственное углубление Гудийского Банка спровоцировало дополнительное развитие Центрального рукава и концентрацию в нем в 2020 г. уже ⅓ суммарного стока воды (табл. 1), в то время как Шавинский Банк после 10-летнего цикла развития стал занимать подчиненное положение. Положительным эффектом такой русловой перестройки стало снижение эрозионной нагрузки на правобережную систему противопаводковых валов.

Проведенные сценарные расчеты гидравлики потока и русловых деформаций с применением методов численного (математического) моделирования подтвердили бесперспективность мероприятий, направленных на сохранение водности Гудийского Банка путем проведения дноуглубительных работ, что определяется значительным превышением отме-

Таблица 1. Распределение стока воды в верхней части Шавинского разветвления в межень (по данным инструментальных измерений 2006–2020 гг.), %

Table 1. Distribution of water runoff in the upper part of the Shavinsky bank during low-water periods (based on instrumental measurements 2006–2020), %

Рукав	2006 г.	2019 г.	2020 г.
Гудийский Банк	93	11	4
Центральный рукав	0	43	67
Шавинский Банк	7	46	29



Рис. 8. Современный размыв береговых валов вследствие активного развития Шавинского Банка

Fig. 8. Modern erosion of coastal shafts due to the active development of the Shavinsky Bank

ток дна левобережной системы (Гудийский Банк) над правобережной (в среднем на 3–5 м) и направленным развитием Центрального рукава и Шавинского Банка (рис. 9). «Переломить» этот процесс можно только путем колоссальных объемов дноуглубления, экономически не обоснованных.

Участок ниже Шавинского разветвления (58–70 км)

Активные русловые переформирования в пределах Шавинского разветвления находят отражение на нижележащем участке. Современная русловая динамика этого участка представляется чрезвычайно интересной с позиции баланса эрозионно-аккумулятивных процессов и разнонаправленности влияющих на них факторов. С одной стороны, участок является зоной направленной аккумуляции наносов, основным источником поступления которых (наряду с транзитными наносами) в настоящее время служат продукты размыва русел Шавин-

ского Банка, а последние годы — и Центрального рукава разветвления. С другой стороны, нижняя граница участка испытывает возрастающее влияние регрессивной эрозии, распространяющейся от устьевое участка Каргалинского Прорыва и обусловленной снижением уровня Каспийского моря. Место смены направленности вертикальных деформаций с аккумулятивных на эрозионные (в районе 68–70 км по рис. 3) морфологически обосновывает положение нижней границы участка и «привязывает» ее к современной верхней границе распространения зоны влияния колебаний уровня Каспийского моря.

Многолетняя динамика русла Каргалинского Прорыва ниже Шавинского разветвления тесно связана с проводимыми русловыправительными и противопаводковыми мероприятиями. Здесь большую часть времени преобладали аккумулятивные процессы, вследствие чего русло старалось принять извилистые очертания. Развитию крутых форм из-

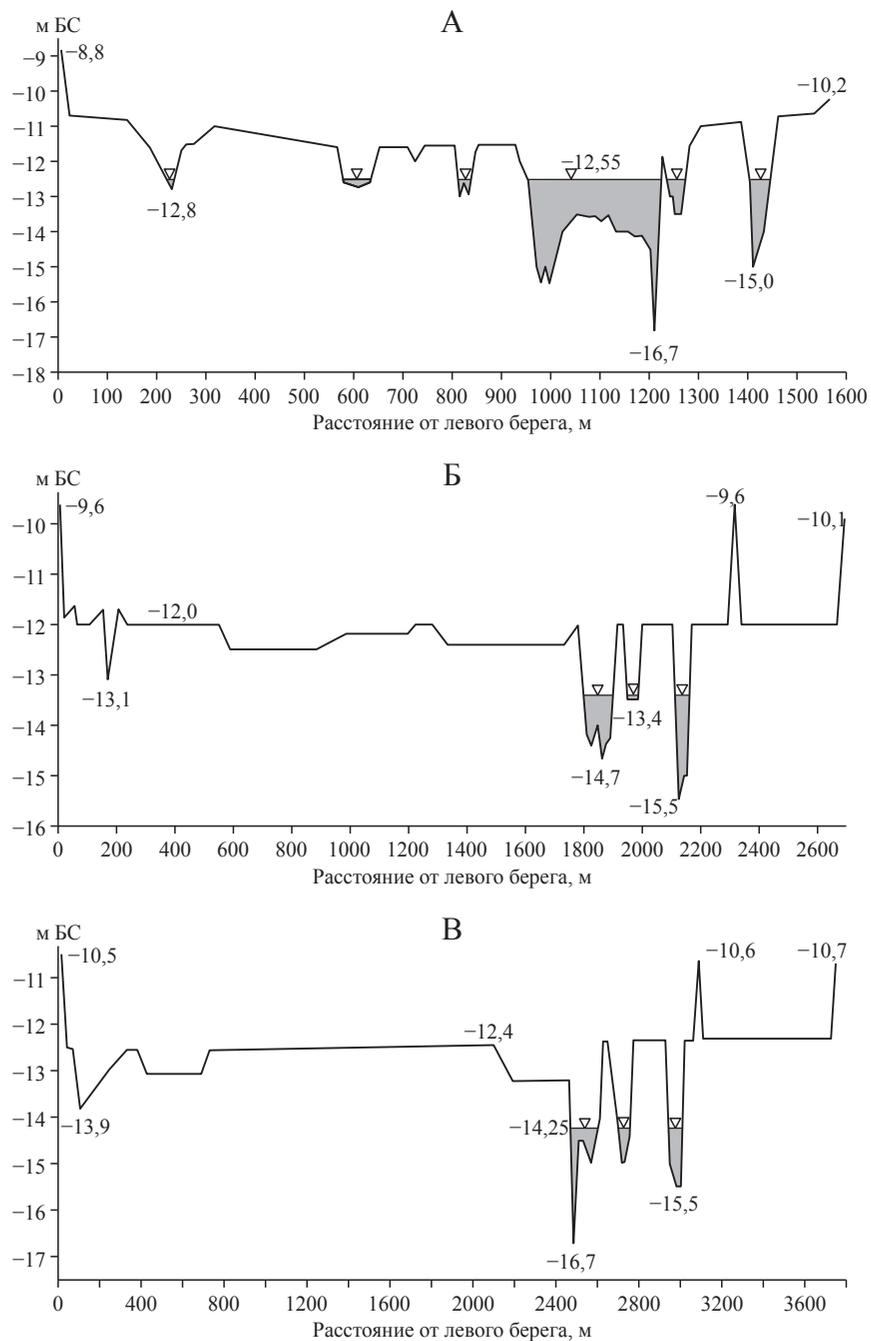


Рис. 9. Поперечные морфостворы через Шавинское разветвление — от левого берега Гудийского Банка к правому берегу Шавинского Банка (ситуация на август 2020 г. после углубления Гудийского Банка): А — морфоствор на 41 км (от Каргалинского ГУ); Б — морфоствор на 43 км; В — морфоствор на 45 км

Fig. 9. Transverse morphometric sections through the Shavinsky fork — from the left bank of the Gudian Bank to the right bank of the Shavinsky Bank (the situation as of August 2020 after the deepening of the Gudian Bank): A — morphometric section 41 km (from Kargalinsky GU); B — morphometric sections 43 km; C — morphometric sections 45 km



Рис. 10. Современный размыв левобережных береговых валов на участке 71–75 км

Fig. 10. Modern erosion of left-bank coastal ramparts on a site of 71–75 km

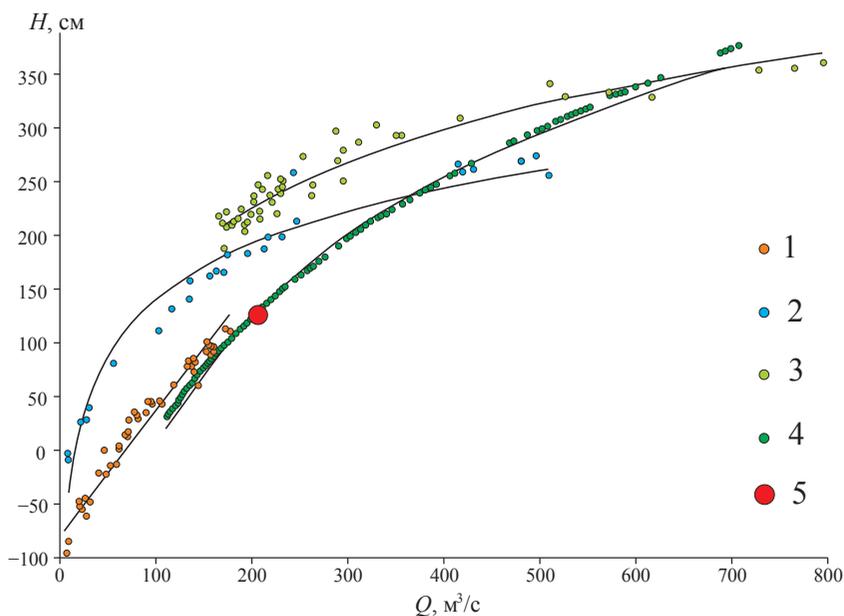


Рис. 11. Изменение кривой $Q = f(H)$ для г.п. «Аликазган» за 1979–2020 гг.: 1 – 1979 г.; 2 – 1988 г.; 3 – 2005 г.; 4 – 2017 г.; 5 – 2020 г.

Fig. 11. Change in the curve $Q = f(H)$ for the settlement of “Alikazgan” for 1979–2020: 1 – 1979; 2 – 1988; 3 – 2005; 4 – 2017; 5 – 2020

лучин препятствовали системы береговых валов и защищающие их конструкции. В конце 1960-х гг. на 75–81 км была спрямлена серия развитых сегментных излучин, после чего произошла временная стабилизация положения русла. В настоящее время пологоизвилистое русло на месте спрямления имеет несколько достаточно протяженных зон размыва, которые, подходя к береговым валам, создают реальную угрозу их разрушения (рис. 10).

Устьевой участок (70–97 км)

Морфодинамика устьевое участка Каргалинского Прорыва наиболее полно определяется циклами колебания УКМ. Особенно четко эта связь

установилась после разработки спрямляющего канала через Аграханский полуостров. Этот процесс подтверждается анализом зависимости $Q = f(H)$ (рис. 11), полученной по г.п. Аликазган, расположенному в 23 км от современного устья реки. Скорость направленной аккумуляции с 1979 по 2005 г. составила около 1 м, что совпадает с ростом УКМ.

Начавшееся в 2006–2007 гг. снижение УКМ стало причиной смены направленности вертикальных деформаций продольного профиля дна. При сопоставлении поперечных профилей русла в створе г.п. Аликазган за 2005 и 2019 гг. (рис. 12) хорошо прослеживается процесс понижения отметок дна в среднем на 1–1.5 м.

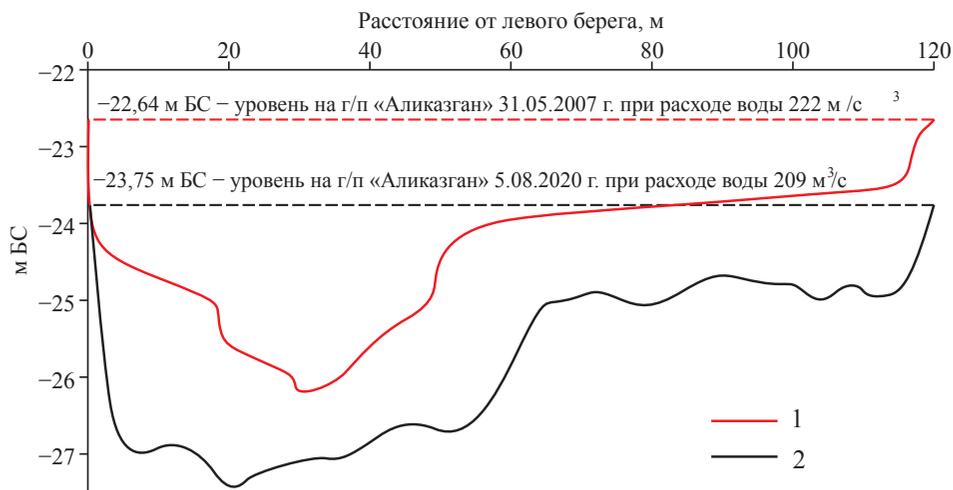


Рис. 12. Поперечный профиль русла Каргалинского Прорыва в створе г.п. «Аликазган» при измеренных расходах воды 31.05.2007 (1) и 05.08.2020 (2)

Fig. 12. Transverse profile of the Kargalinsky channel in the alignment of the settlement. “Alikazgan” with measured water flow rates on 05/31/2007 (1) and 08/05/2020 (2)

Процесс направленного врезания на устьевом участке способствовал активизации русловых переформирований за последние два десятилетия. В целом русло Каргалинского Прорыва на устьевом участке имеет пологоизвилистые очертания и во время преобладания аккумулятивных процессов и снижения уклонов не отличается высокой эрозионной активностью. Однако сопоставление космических снимков за 2010–2020 гг. показало, что на фоне направленного врезания русла происходит существенное ускорение темпов горизонтальных деформаций и увеличение длины эрозионных участков. Доля последних в настоящее время составляет около 30% от суммарной длины береговой линии. Большие значения отмечены только в пределах активно развивающегося правого рукава Шавинского разветвления (Шавинского Банка). В то же время в 1965–2010 гг. доля эрозионных участков не превышала здесь 20%. При этом средние скорости размыва в пределах выделенных эрозионных участков составляют 2–3 м/год — максимальные величины для всего русла Каргалинского Прорыва.

Искусственная прорезь и устьевой бар (97–104 км)

Интенсивная глубинная и боковая эрозия на устьевом участке, увеличивающаяся и так большой сток наносов, способствует активному выдвиганию устьевых баров. На рис. 13 показаны изменения его размеров за 1975–2005 и 2005–2020 гг. По-

следний период отличается более чем двукратным удлинением и увеличением площади устьевых баров (хотя эти характеристики и требуют правильной интерпретации с учетом понижения УКМ и естественного увеличения площади осушки).

4-километровый участок прорези через Аграханский полуостров за время своего существования с 1977 г. трансформировался в полноценное русло со свойственным ему русловым рельефом, плёс-перекатными системами, участками эрозии и аккумуляции вдоль береговой линии. В целом в пределах прорези ширина русла постепенно увеличивается, формируются массивные аллювиальные формы (побочки, осередки). При этом участок является транзитным для наносов, без выраженной направленности вертикальных деформаций, компенсируя последствия снижения УКМ выдвиганием русла в море, сохраняя таким образом устойчивый продольный профиль.

Берега здесь активно размываются (рис. 14), при этом фронт размыва смещается параллельно движению крупных русловых форм. Так как скорость их смещения достигает нескольких сотен метров в год, то участки размыва берега не успевают занять устойчивое положение для формирования излучин и русло сохраняет относительно прямолинейные очертания.

Результаты анализа многолетней и современной динамики русла Каргалинского Прорыва позволили обобщить данные по морфологии и динамике описанных выше участков в табличном виде (табл. 2).

Таблица 2. Морфологически однородные по направленности русловых переформирований участки русла Каргалинского Прорыва

Table 2. Morphologically homogeneous by direction of channel reformation sections of the Kargalinsky channel

Расстояние от Каргалинского ГУ, км	Преобладающие формы русла в условиях антропогенного ограничения ширины пояса русловых деформаций	Уклон по руслу, ‰	Вертикальные деформации		Горизонтальные деформации		
			направленность	величина направленной эрозии (-) / аккумуляции (+), средняя для участка, метры (за 2006–2020 гг.)	доля эрозионных участков (от суммарной длины береговой линии), %	средняя скорость размыва берега в пределах эрозионных участков, м/год	среднемакс. скорость размыва берега в пределах эрозионных участков, м/год
0–40	Относительно прямолинейное русло	0.32	нейтральные	+0.15	17	1.1	2.9
40–58	Раздвоенное русло: А) Гудийский Банк Б) Центральный рукав В) Шавинский Банк	А) 0.36 Б) 0.41 В) 0.30	А) аккумуляция Б) эрозия/аккумуляция В) эрозия	А) +1.50 Б) -0.35/+0.80 В) -0.75	А) 0 Б) 1 В) 34	А) 0 Б) 0.2 В) 1.8	А) 0 Б) 5.8 В) 3.4
58–68	Чередование вынужденных и адаптированных сегментных излучин	0.22	аккумуляция	+0.95	26	1.95	3.5
68–97	Чередование относительно прямолинейного русла и пологих сегментных излучин	0.20	эрозия	-1.15	29.5	2.2	3.7
97–105	Относительно прямолинейное русло. Устьевой бар	0.25	нейтральные	+0.05	24	3.4	5.9

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В РУСЛЕ КАРГАЛИНСКОГО ПРОРЫВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Работы по предотвращению или снижению ущерба от негативных гидрологических процессов стали проводиться на участке Каргалинского Прорыва с конца 50-х гг. XX в. Более комплексные подходы к регулированию русла, направленные на обеспечение гидроэкологической безопасности приречных территорий, были разработаны и

внедрены в 90-х гг. XX в. (Исследование..., 1991). В дальнейшем гидротехнические и управленческие методы совершенствовались и актуализировались с учетом прогнозируемых трендов изменчивости природных и антропогенных факторов, а также хозяйственного освоения дельты Терека. Основные принципы и подходы защиты приречных территорий были заложены в мероприятиях и целевых показателях «Схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Терек» (Схема..., 2013), реализация которой была начата в 2015 г.

В качестве основных гидротехнических мероприятий по регулированию русла Каргалинского

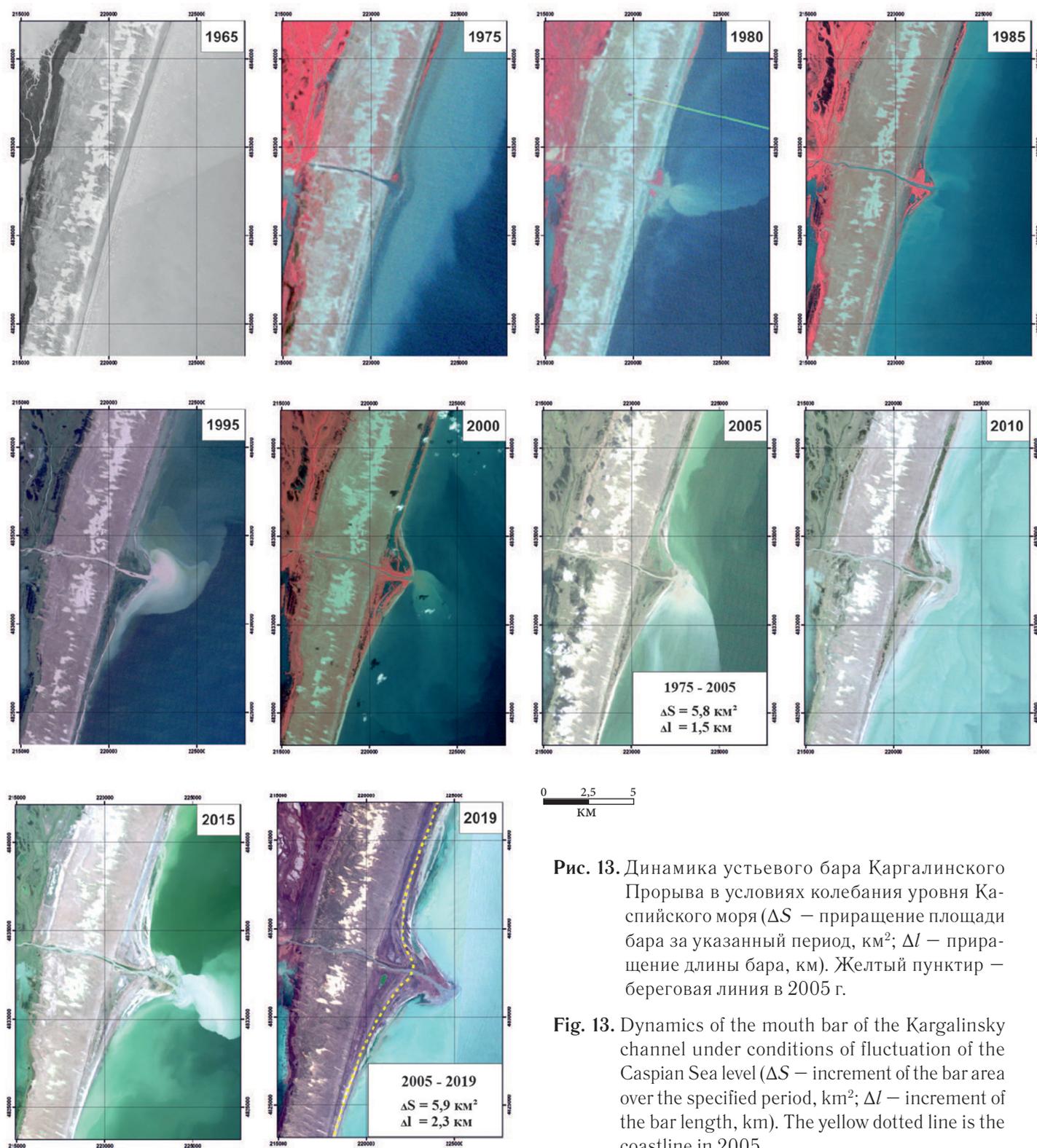


Рис. 13. Динамика устьевго бара Каргалинского Прорыва в условиях колебания уровня Каспийского моря (ΔS – приращение площади бара за указанный период, км^2 ; Δl – приращение длины бара, км). Желтый пунктир – береговая линия в 2005 г.

Fig. 13. Dynamics of the mouth bar of the Kargalinsky channel under conditions of fluctuation of the Caspian Sea level (ΔS – increment of the bar area over the specified period, км^2 ; Δl – increment of the bar length, km). The yellow dotted line is the coastline in 2005

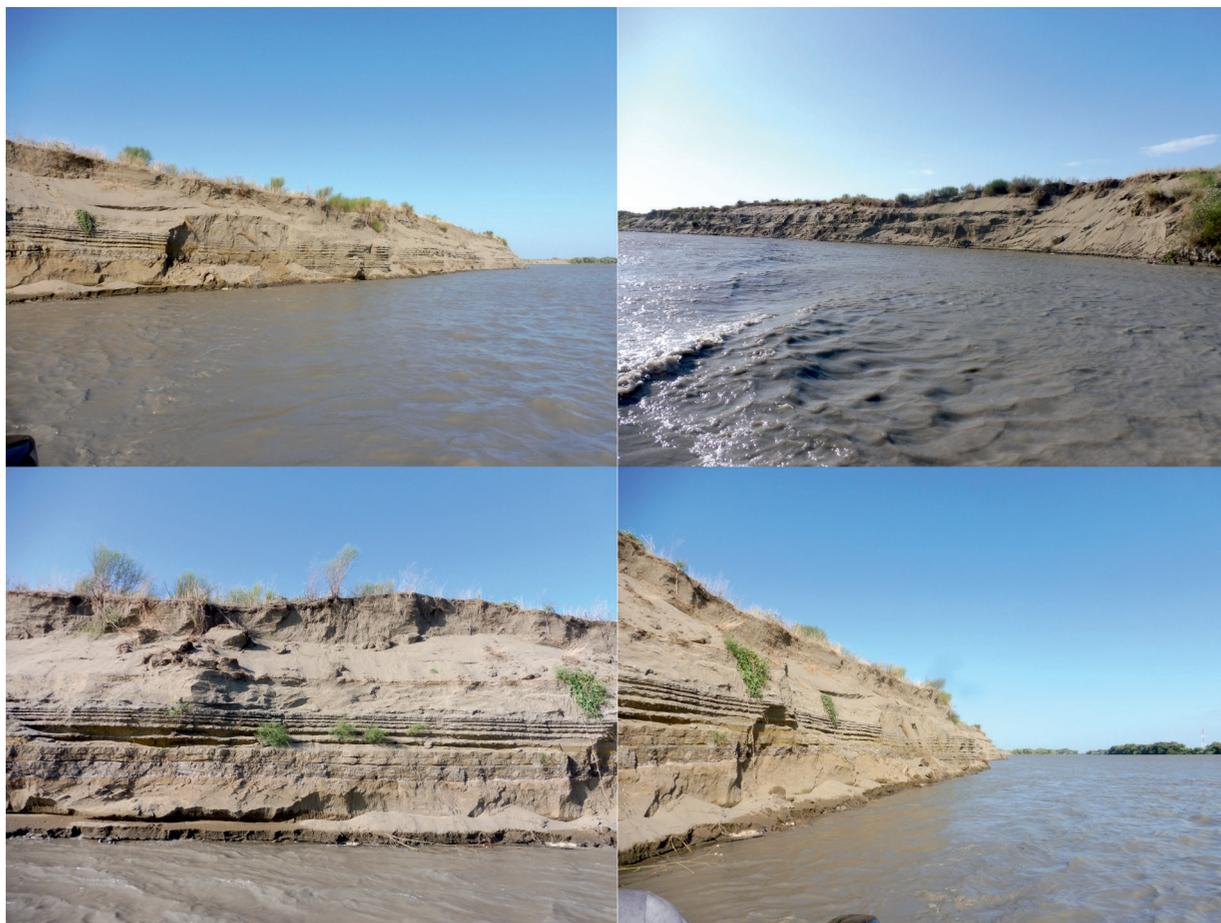


Рис. 14. Эрозионные береговые уступы на участке пересечения Каргалинским Прорывом приморского вала Аграханского полуострова

Fig. 14. Erosive coastal ledges at the intersection of the Kargalinsky channel of the primorsky shaft of the Agrakhan peninsula

Прорыва на протяжении последних десятилетий применялись следующие:

1. Руслоспрямительные работы, направленные на уменьшение общей извилистости русла и повышение его пропускной способности.
2. Капитальный ремонт и строительство новых защитных водоградительных валов.
3. Капитальный ремонт и строительство берегозащитных сооружений.
4. Расчистка русла и дноуглубительные работы.

Руслоспрямительные работы

Практика регулирования русла Каргалинского Прорыва путем спрямления наиболее извилистых участков (отдельных излучин или целых их серий) широко используется с 60-х гг. XX в. Только на протяжении второй половины прошлого столетия ниже Каргалинского гидроузла кривизна русла искусственно была уменьшена на 9 участках. В 2004–2005 гг. были введены в эксплуатацию

два крупных спрямляющих русло канала — на 8–9 и 11–12 км. Чуть позже (2010–2011 гг.) было реализовано спрямление на 68–70 км. Также были разработаны, но в настоящее время находятся в законсервированном состоянии, каналы на 2–4 км, 24–31 км и 71–73 км.

Как показала практика, такой подход в большинстве случаев является обоснованным и решает широкий спектр водохозяйственных проблем. В первую очередь в случае правильной трассировки спрямляющего канала удается снизить эрозионную нагрузку на систему противопаводкового обвалования русла. Перемещаясь в новое русло, поток концентрируется на его расширении и углублении. На пиках паводков деление потока на два русла (старое и новое) снижает темпы размыва берегов, а по мере саморазмыва канала постепенно происходит заиление старого русла и стабилизация эрозионных участков в его пределах. Так, ввод в эксплуатацию трех последних спрямлений русла

стабилизировал обстановку на эрозионно опасных участках общей протяженностью более 4 км. При этом сами спрямляющие каналы достаточно долго сохраняют прямолинейные очертания. Последнее является отличительной особенностью руслового режима нижнего течения Терека и связано с высокой скоростью смещения форм руслового рельефа (осередков, побочней), что не позволяет на продолжительный период фиксировать связанные с ними зоны эрозии на противоположных берегах и «запускать» процесс меандрирования.

Спрявление русла положительно отражается и на снижении паводковой опасности и вероятности перелива ограждающих валов при экстремальных гидрологических событиях. В зависимости от протяженности и кривизны спрямляемого участка удается увеличить в 1.5–2 раза местные уклоны, следствием чего является увеличение пропускной способности русла и понижение отметок водной поверхности в паводочных условиях.

Таким образом, для нижнего течения Терека следует признать весьма эффективным такой способ управления русловыми процессами. Однако в случае ввода в эксплуатацию оставшихся консервированных каналов Каргалинского Прорыва этот ресурс будет практически полностью исчерпан. Уже в настоящее время общий коэффициент извилистости его русла составляет 1.28, а в случае «открытия» уже разработанных каналов снизится до значения 1.22. Дальнейшее спрявление сохранившихся пологих изгибов не будет обосновано ни с экономических, ни с гидравлических позиций. Исключением является участок Шавинского разветвления, где представляется перспективным проведение руслоспрямительных мероприятий в пределах правобережной системы рукавов (Шавинский Банк).

Капитальный ремонт и строительство новых защитных водооградительных валов

Работы по капитальному ремонту и сооружению новых водооградительных валов в пределах русла Каргалинского Прорыва выполняются на постоянной основе. В настоящее время противопаводковая защитная система от Каргалинского гидроузла до Аликазганского моста реализована в виде двойного контура (основной и дублирующий вал), и она продолжает развиваться и совершенствоваться, что заложено в целевые показатели водоохраных мероприятий по снижению ущерба от негативного воздействия вод в бассейне р. Терек (Схема ..., 2013).

Основным методом стабилизации планового

положения русла Каргалинского Прорыва является крепление дна и откосов эрозионно опасных участков сборными железобетонными балками (тетраэдрами), закрепленными стальными тросами за специальные «якоря», расположенные с противоположной стороны вала защищаемого берега. Дополнительно эрозионный откос армируется сеткой-рабицей, под которой располагаются валки прессованной соломы. Последняя способствует кольматации органического наполнителя переносимыми водным потоком взвешенными наносами и формированию дополнительного защитного слоя в верхней и нижней частях подмываемого берега.

Был проведен анализ интенсивности плановых деформаций русла Каргалинского Прорыва в пределах 117 эрозионных участков, которые включали в себя как участки, формирующиеся в естественных условиях, так и с выполненными берегозащитными мероприятиями. В табл. 3 приводится обобщение морфометрических и динамических характеристик русла на эрозионных участках. Можно отметить наличие стабилизирующего фактора защитных сооружений на эрозионных участках. Это проявляется в снижении как средних, так и максимальных скоростей размыва берега (в среднем на 10–30%). Однако полностью стабилизировать положение русла с применением описанных выше технологий защиты не удастся. Наличие большого числа аварийных участков, требующих ремонта и восстановления, — еще одно подтверждение этому.

Более четко влияние берегозащитных мероприятий на динамику русла прослеживается при разделении эрозионных участков по степени извилистости (степени развитости формы русла, к которой приурочен размываемый берег). Активизация эрозионных процессов обусловлена смещением динамической оси потока к одному из берегов, началу его размыва и постепенному формированию выраженного изгиба русла, что активизирует процессы меандрирования и связанные с ним русловые деформации. Степень развитости изгиба русла характеризуется коэффициентом l/L , т. е. отношением длины излучины по руслу к ее шагу. Все рассматриваемые участки размыва берега были отнесены к одной из 4 групп с фиксированным диапазоном значения степени развитости ($l/L \leq 1.10$; $1.10 < l/L \leq 1.30$; $1.30 < l/L \leq 1.50$; $l/L \geq 1.50$). Это позволило получить характерные значения интенсивности эрозионных процессов на разных стадиях развития изгиба русла эрозионного участка с наличием или отсутствием берегозащитных сооружений. На рис. 15 представлен график связи значений средней ско-

Таблица 3. Сводная таблица морфодинамических характеристик эрозионных участков Каргалинского Прорыва в условиях наличия («с з/с») и отсутствия («без з/с») берегозащитных мероприятий

Table 3. Summary table of morphodynamic characteristics of erosion sites of the Kargalinsky channel in the presence and absence conditions bank protection measures

Расстояние от Каргалинского гидроузла	Протяженность фронта размыва, км	Средне-взвешенная скорость размыва берега, м/год	Максимальная скорость размыва берега, м/год	Площадь размыва, м ² /год	Средне-годовой объем размыва, м ³ /год	Степень развитости, l/L	Макс. глубина в русле, м	Высота берега над урезом, м	Суммарная высота эрозионного уступа, м	
1–40 км	общее	14.7	1.11	2.41	15 450	78 882	1.11	3.78	3.27	7.04
	без з/с	8.1	1.10	2.38	7957	36 684	1.04	3.19	2.89	6.08
	с з/с	6.6	1.11	2.43	7493	42 198	1.16	4.17	3.52	7.69
40–58 км	общее	14.2	1.76	3.03	26 569	112 887	1.27	3.06	2.42	5.47
	без з/с	9.0	1.72	2.78	16 636	61 305	1.25	2.95	1.70	4.65
	с з/с	5.2	1.88	3.62	9933	51 582	1.32	3.31	4.13	7.44
58–82 км	общее	13.0	1.73	3.15	22 719	119 305	1.16	3.82	2.94	6.76
	без з/с	6.8	1.57	3.09	10 742	50 586	1.18	3.58	2.22	5.80
	с з/с	6.2	1.94	3.23	11 977	68 719	1.22	4.10	3.80	7.90
82–104 км	общее	14.6	2.57	4.33	39 716	171 652	1.10	3.40	2.68	6.09
	без з/с	14.6	2.57	4.33	39 716	171 652	1.10	3.40	2.68	6.09
	с з/с	Защитные сооружения (з/с) на участке отсутствуют								
1–104 км	общее	56.5	1.86	3.29	104 454	482 726	1.18	3.41	2.73	6.15
	без з/с	38.5	1.96	3.37	75 050	320 226	1.15	3.23	2.26	5.50
	с з/с	18.0	1.63	3.10	29 404	162 500	1.23	3.83	3.82	7.66

рости смещения береговых бровок с диапазонами степени развитости изгибов русла.

Анализ полученных результатов позволяет сделать ряд выводов о характере проявления эрозионной активности в русле Каргалинского Прорыва и степени эффективности проводимых берегозащитных мероприятий:

1. Несмотря на большой комплекс проведенных во второй половине XX – начале XXI вв. работ по спрямлению русла, остается подверженной значительной эрозионной нагрузке около 27% общей протяженности береговой линии Каргалинского Прорыва. При этом 19% имеют реализованный комплекс берегозащитных сооружений. Наиболее интенсивно горизонтальные деформации развиты на устьевом участке (ниже Аликазганского моста), где берегозащитные сооружения отсутствуют. Выше по течению берегозащитные сооружения присутствуют на 43% общей протяженности эрозионных участков, в т. ч. на 100% там, где существует опасность размыва противопаводковых валов (в 2020–2021 гг. были проведены работы по защите берега на последних неукрепленных участках пойменных валов в Шавинском Банке).

2. Можно говорить о недостаточной эффективности проводимых берегозащитных мероприятий, не позволяющих полностью предотвратить дальнейший размыв берега после их реализации. С другой стороны, нужно понимать, что применение более эффективных методов защиты береговой линии от размыва, с использованием шпунтовых стенок, скальных отсыпок, капитальных шпор, на порядок увеличивает стоимость работ и в большинстве случаев не может быть экономически обосновано.

3. Применение используемых методов берегозащиты наиболее эффективно на более развитых излучинах русла ($l/L > 1.3$), когда достигается снижение скоростей отступления берега на 20–50%.

Расчистка русла и дноуглубительные работы

Проведение дноуглубительных работ для регулирования русла Каргалинского Прорыва и понижения отметок водной поверхности является достаточно спорным техническим решением, что связано с чрезвычайно высоким стоком наносов,

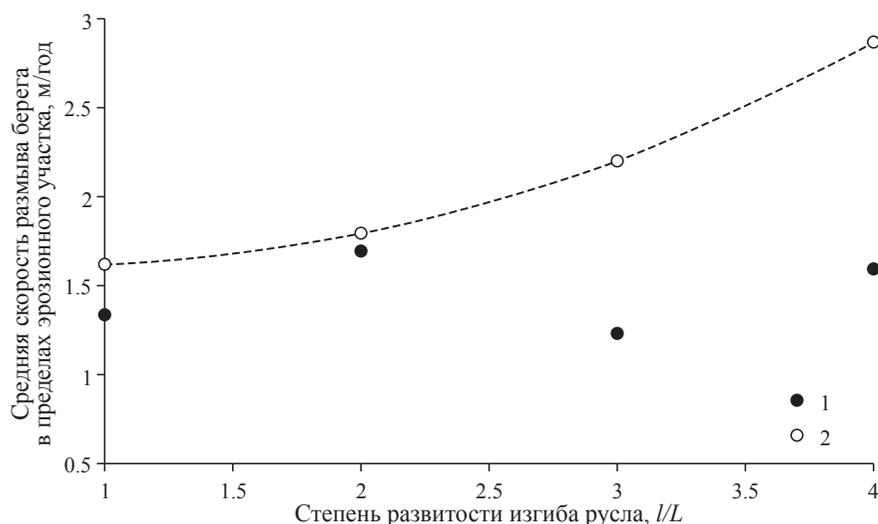


Рис. 15. Связь средневзвешенных значений скоростей размыва берега на эрозионных участках Каргалинского Прорыва с осредненной в пределах диапазонов степенью развитости излучин: 1 – участки с защитными сооружениями; 2 – участки, развивающиеся в естественных условиях

Fig. 15. The relationship of weighted average values of coastal erosion rates in the erosive areas of the Kargalinsky channel with the degree of development of bends averaged within ranges: 1 – areas with protective structures; 2 – areas developing in natural conditions

очень быстро нивелирующим любое антропогенное вмешательство в естественный русловый режим. Определенный положительный эффект достигался в результате расчистки русла на дельтовом участке (ниже Лопатинского моста, 101 км), выполнявшейся в начале XXI в., когда отмечался рост уровня Каспийского моря, приводивший к повышенной аккумуляции наносов на устьевом взморье и значительному снижению пропускной способности русла. Смена тренда колебаний уровня Каспийского моря способствовала активизации процесса саморазмыва русла и его естественному углублению. Дноуглубительные работы были прекращены, за исключением ежегодной разработки верхней части Гудийского Банка с целью обеспечения подвода воды к головным сооружениям каналов Зиньков и Махачкент. Ежегодное возобновление этих работ говорило об их низкой эффективности.

Отдельно стоит реализация упомянутого выше проекта по расчистке и дноуглублению русла Гудийского Банка. Строительные работы были завершены в начале 2020 г. и на весенне-летний период обеспечили перераспределение стока воды в пределах Шавинского разветвления, снизив тем самым эрозионную нагрузку на правобережную систему обвалования в Шавинском Банке. При этом снижение нагрузки произошло не за счет увеличения стока воды по левобережной системе (Гудийский Банк) по разработанному каналу, а благодаря активизации развития центрального рукава Шавинского разветвления.

ИЗМЕНЕНИЕ РУСЛОВОГО РЕЖИМА КАРГАЛИНСКОГО ПРОРЫВА В УСЛОВИЯХ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

В настоящее время в литературе представлен широкий спектр прогнозных оценок колебания уровня Каспийского моря (УКМ), основанных преимущественно на анализе временной изменчивости составляющих водного баланса и вероятностного моделирования разной степени сложности (Водный баланс..., 2016). Одним из наиболее комплексных является прогноз УКМ, разработанный в Институте водных проблем РАН (Болгов, Коробкина и др., 2018). Примененный метод имитационного моделирования показал достаточно широкий диапазон возможных значений УКМ на период прогноза с заблаговременностью от 5 до 40 лет. При этом общим трендом на этот период (с обеспеченностью 50%) выступает сохранение тенденции снижения УКМ до отметок -28.7 м БС при вероятностном диапазоне колебания абсолютных отметок от -26.8 м (с обеспеченностью 1%) до -30.6 м (с обеспеченностью 99%).

В качестве теоретической основы прогноза трансформации руслового и водного режима при различных сценариях изменения уровня приемного водоема были использованы принципы расчета выработанного продольного профиля русла и отметок свободной поверхности. Применительно к участку Каргалинского Прорыва методические подходы к расчету выработанного продольного

Таблица 4. Отметки водной поверхности и выработанного продольного профиля дна на устьевом участке Каргалинского Прорыва при расходах воды 1%-ной обеспеченности при различных отметках УКМ

Table 4. Water surface elevations and excavated longitudinal bottom profile at the mouth of the Kargalinsky channel at water discharge of 1% probability at different Caspian Sea level

Расстояние от Каргалинского гидроузла, км	УКМ –30.5 м БС		УКМ –28.0 м БС		УКМ –26.8 м БС	
	водная пов-ть	дно	водная пов-ть	дно	водная пов-ть	дно
60	-16.3	-21.9	-15.0	-20.6	-15.0	-20.6
70	-18.6	-24.9	-17.1	-23.4	-17.0	-23.2
80	-21.5	-27.2	-19.7	-25.5	-19.4	-24.8
90	-24.2	-29.5	-22.2	-27.5	-21.0	-26.3
100	-26.1	-31.6	-23.8	-29.2	-22.5	-27.7

профиля были разработаны в 90-е гг. XX в. в МГУ имени М.В. Ломоносова в связи с научным обоснованием рекомендаций по снижению негативных последствий русловых процессов (Исследование русловых процессов..., 1991). Они основывались на предложенном алгоритме решения уравнений, направленных на достижение равенства между рассчитанной и фактической отметками поверхности воды в начальном и конечном створах при заданных диапазонах расходов воды от 75 до 1500 м³/с. Произошедшие за последние 20–30 лет изменения в морфологии русла Каргалинского Прорыва потребовали выполнить заметную корректировку результатов, полученных для обстановки, существовавшей на рубеже XX–XXI вв. Однако полученные тогда значения относительной изменчивости отметок выработанного продольного профиля и отметок свободной поверхности воды при различных УКМ (в диапазоне –25.5 – –31.0 м БС) оказались вполне допустимыми для прогнозных оценок по данным натурных исследований 2018–2020 гг.

Вычисленный выработанный продольный профиль дна предполагался относительно стабильным, и для этих условий в программном комплексе NECRAS рассчитывалась кривая свободной поверхности для расхода воды 1%-ной обеспеченности (около 1000 м³/с по г.п. Аликазган) в пределах принятого диапазона колебания УКМ до 2050 г. (Болгов, Коробкина и др., 2018) (табл. 4).

Проведенный расчет трансформации выработанного продольного профиля дна Каргалинского Прорыва на нижнем 40-километровом участке позволил дать оценку распространения регрессивной эрозии и аккумуляции при экстремальных сценариях изменения УКМ (по прогнозным оценкам ИВП РАН). В условиях снижения УКМ ниже –30,0 м БС регрес-

сивная эрозия достигнет нижней части Шавинского разветвления, в пределах которого отметки дна в среднем понизятся до 1.0 м. Для сравнения: современная волна эрозии, связанная с постепенным (с конца XX в.) снижением уровня Каспийского моря, фиксируется примерно на 70 км от Каргалинского ГУ, т. е. в 12 км ниже Шавинского разветвления. Углубление русла будет способствовать снижению паводковой опасности в нижней части Каргалинского Прорыва (угрозы перелива противопаводковых валов). С другой стороны, это ухудшит и так сложную ситуацию с русловыми деформациями, повысив эрозионную нагрузку на береговые уступы (за счет увеличения их высоты) и нарушив стабильность существующих берегозащитных сооружений. На участке от Шавинского разветвления до Аликазганского моста (58–81 км) потребуются проведение дополнительных дорогостоящих работ по стабилизации русла на эрозионных участках, где отметки дна могут в среднем понизиться на 1.5 м. Не исключено, что потребуются полная реконструкция всей берегозащитной инфраструктуры.

Обратная ситуация будет наблюдаться в условиях роста уровня Каспийского моря. Расчеты устойчивого продольного профиля дна показывают, что в условиях снижения транспортирующей способности потока будет происходить дополнительная аккумуляция наносов, приводящая к повышению уровней воды, начиная с 70–75 км. В данном случае при снижении эрозионной активности возрастут риски перелива противопаводковых валов при паводках редкой обеспеченности. Дополнительное приращение уровня воды 1%-ной обеспеченности составит порядка 0.5 м в районе г.п. Аликазган (и до 1.3 м в устьевом створе). Но такой сценарий представляется менее негативным и потребует существенно меньших затрат при проведении компенсационных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных данных о современной морфодинамике русла Каргалинского Прорыва, прогнозные оценки его развития, в т. ч. в условиях изменчивости уровня Каспийского моря, легли в основу научного обоснования комплекса мероприятий по гидротехническому регулированию русла, направленных на снижение негативного воздействия гидрологических и русловых процессов. Всего было рассмотрено более 70 вариантов противопаводковых, берегозащитных и русловыправительных мероприятий. Для каждого из них (а также их сочетаний) была проведена оценка эффективности, в т. ч. с применением методов численного (математического) моделирования гидравлики потока и русловых деформаций, выполнен расчет стоимости и экономического эффекта в условиях стабилизации русла и повышения безопасности пропуска экстремальных паводков.

Результаты работы были представлены на рассмотрение в Федеральное агентство водных ресурсов РФ, где получили одобрение и рекомендованы к внедрению. Предложенный комплекс гидротехнических мероприятий лег в основу новой концепции обеспечения гидроэкологической безопасности в нижнем течении Терека, принятой Западно-Каспийским БВУ. Значительная часть рекомендуемых мероприятий вошла в согласованную Министерством природных ресурсов и экологии РФ, Правительством Республики Дагестан программу «Комплекс мер по проведению противопаводковых и природоохранных мероприятий на территории Республики Дагестан на период с 2022 по 2025 г. и последующие годы».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С., Ганиев М.И., Гасангусейнов М.Г., Залибеков З.М., Исмаилов Ш.И., Каспаров С.А., Лепехина А.А., Мусаев В.О., Рабаданов Р.М., Соловьев Д.В., Сурмачевский В.И., Тагиров Б.Д., Эльдаров Э.М. Физическая география Дагестана. Махачкала: Изд-во Дагестан. гос. пед. ун-та. 1996. 382 с.

Алексеевский Н.И., Михайлов В.Н., Сидорчук А.Ю. Процессы дельтообразования в устьевой области Терека // Водные ресурсы. 1987. № 5. С. 123–128.

Байдин С.С. Современные процессы дельтообразования в устье Терека // Труды ГОИН. 1971. Вып. 109. 198 с.

Байдин С.С., Скриптунов Н.А., Штейман Б.С., Ган Г.Н. Гидрология устьевых областей рек Терека и Сулака / Тр. ГОИН. 1971. Вып. 109. 198 с.

Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филиппова И.А. Речной сток и вероятностный прогноз уровня Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2018. № 10. С. 17–26.

Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада лтд. 2016. 378 с.

Горелиц О.В., Землянов И.В. Стадийность развития дельты Терека в современных условиях // Тр. ГОИН. 2011. Вып. 213. С. 369–380.

Исследование русловых процессов на реках в бассейне р. Терека и разработка рекомендаций по снижению неблагоприятных последствий от них при регулировании стока воды. Отчет по научно-исследовательской работе. М.: МГУ. 1991. 53 с.

Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС. 1997. 413 с.

Никулин А.С., Поволоцкий М.Я., Сидорчук А.Ю. Изменение пропускной способности русла в низовьях р. Терек // Водные ресурсы. 1989. № 6. С. 56–61.

Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Терек (Российская часть бассейна). Западно-Каспийское бассейновое водное управление. ЗАО «НТЦ «Регионгидропроект». 2013. 270 с.

ОБ АВТОРАХ

Завадский Александр Сергеевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник.
E-mail: az200611@rambler.ru

Самохин Михаил Алексеевич, кандидат географических наук, научный сотрудник.

E-mail: gidromiha@mail.ru

Чалов Сергей Романович, профессор, доктор географических наук.

E-mail: srchalov@geogr.msu.ru

Тузова Елизавета Андреевна, инженер.

E-mail: ea.morozovaa@yandex.ru

Куракова Анна Александровна, кандидат географических наук, младший научный сотрудник.

E-mail: a.a.kurakova@mail.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по планам НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева и кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова (исходные данные, натурные исследования) при финансовой поддержке РФФИ (проект № 23-17-00065 — анализ и обобщение данных).

HYDROMORPHOLOGY OF THE KARGALINSKY CHANNEL – THE MAIN DISTRIBUTARY SYSTEM OF THE TEREK RIVER DELTA

A.S. Zavadsky*, M.A. Samokhin, S.R. Chalov, E.A. Tuzova, A.A. Kurakova

*Lomonosov Moscow State University
Faculty of Geography*

*az200611@rambler.ru

Abstract. The main natural factors determining the specifics of the Terek delta channel regime are related to increased sediment runoff and low channel stability. Sediment yield of the Terek is comparable to the largest rivers of Russia – the Ob, Yenisei, Lena, despite the fact that the water runoff is ten times smaller. For many centuries, people were adapting to the unpredictable nature of the riverbed and water regime of the Terek, which repeatedly changed the direction of its main flow after reaching the Caspian lowland. The present study presents the results of recent studies of the hydromorphology of the Kargalinsky channel, which is former avulsion channel and today is the main distributary of the Terek River delta, where more than 90% of the total water and sediment runoff is discharged. An assessment is given of the variability of the rate and direction of channel changes along its length, the nature of the influence of fluctuations in the level of the Caspian Sea on the dynamics of the channel. The purposes of channel management are also discussed.

Keywords: delta, Terek, riverbed processes, longitudinal profile, coastal erosion, Caspian Sea level

REFERENCES

- Akaev B.A., Ataev Z.V., Gadzhiev B.S., Ganiev M.I., Gasanguseynov M.G., Zalibekov Z.M., Ismailov Sh.I., Kasparov S.A., Lepekhina A.A., Musaev V.O., Rabadanov R.M., Solovyov D.V., Surmachevsky V.I., Tagirov B.D., Eldarov E.M. Fizicheskaja geografija Dagestana. Mahachkala. Izd-vo Dagestan.gos.ped.un-ta. 1996. 382 s.
- Alekseevsky N.I., Mikhailov V.N., Sidorchuk A.Yu. Processy deltoobrazovanija v ustevoy oblasti Tereka // Vodnie resursy. 1987. №5. S. 123-128.
- Baydin S.S. Sovremennye processy deltoobrazovanija v ustye Tereka // Trudy GOIN. 1971. Vip. 109. 198 s.
- Baidin S.S., Skriptunov N.A., Shteiman B.S., Gan G.N. Gidrologija ustyevih oblastey rek Tereka i Sulaka // Trudy GOIN. 1971. Vip. 109. 198 s.
- Bolgov M.V., Korobkina E.A., Trubetszkova M.D., Filippova I.A. Rehcnoy stok i verojatnostnyi prognoz urovnja Kaspiyskogo morja // Meteorologija i gidrologija. 2018. №10. S. 17-26.
- Vodniy balans i kolebanija urovnja Kaspiyskogo morja. Modelirovanie i prognoz. – M.: Triada ltd. 2016. 378 s.
- Gorelits O.V., Zemlyanov I.V. Stadiynost razvitiya delty Tereka v sovremennyh uslovijah // Tr. GOIN. 2011. Vip. 213. S. 369-380.
- Issledovanija ruslovyh processov na rekah v bassejne r.Tereka i razrabotka rekomendacij po snigieniyu neblagoprijatnih posledstviy ot nih pri regulirovanii stoka vodi. Otchet po nauchno-issledovatel'skoy rabote. M.: MGU. 1991. 53 s.
- Mihaylov V.N. Ustyja rek Rossii i sopredel'nyh stran: proshloe, nastojashee i budushchee. M.: GEOS. 1997. 413 s.
- Nikulin A.S., Povolotsky M.Ya., Sidorchuk A.Yu. Izmenenie propusknoy sposobnosti rusla v nizov'jah r. Terek // Vodnie resursy. 1986. № 6. S. 56-61.
- Shema kompleksnogo ispolzovanija i ohrany vodnih obektov bassejna reki Terek (Rossiyskaja chast bassejna). Zapadno-Kaspiyskoe basseynovoe vodnoe upravlenie. ZAO «NTC» Regiongidroproekt». 2013. 270 s.