

УДК 551.482.6

ПРОЦЕССЫ ДЕЛЬТООБРАЗОВАНИЯ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ТЕРЕКА

АЛЕКСЕЕВСКИЙ Н. И., МИХАЙЛОВ В. Н., СИДОРЧУК А. Ю.

Процессы дельтообразования в устьевых областях рек, переносящих большое количество наносов, протекают с большой интенсивностью. На фоне общей аккумуляции речных наносов, стимулирующей активное устьевое удлинение при выдвигании русла в приемный водоем и повышение отметок дна дельтовых водотоков, происходит быстрая, часто катастрофическая перестройка гидрографической сети дельты. Поскольку устьевые области многих рек широко используются под орошаемое земледелие, возникает необходимость регулирования устьевых процессов для сохранения сложившегося в дельте водохозяйственного комплекса и обеспечения оптимальных условий его функционирования. Проблема регулирования процессов дельтообразования особенно актуальна для устьевой области Терека, где находится 116 тыс. га орошаемых земель, а в перспективе планируется увеличить их площадь еще на 20%.

Процессы развития дельты Терека в прошлом были обусловлены в основном сменой трансгрессионных и регрессионных эпох в колебаниях уровня Каспийского моря. Установлено, что современная зона дельтообразования сложилась в период новокаспийской трансгрессии моря, когда Терек формировал дельту в пределах древнего морского залива, частично блокированного морским баром — Аграханским п-ом. Последующее понижение уровня моря привело к возникновению западнее полуострова мелководной лагуны — Аграханского залива.

Наиболее полно этапы развития наложенных и причлененных дельт изучены для последнего, Каргалинского цикла формирования дельты Терека, начавшегося в половодье 1914 г., после прорыва вод в районе станицы Каргалинской по новому направлению — в южную часть устьевой области реки [2, 4]. Эти этапы могут быть объединены в четыре периода формирования наложенно-причлененной дельты Каргалинского прорыва.

I период (1914—1939 гг.), включающий озерно-плавневый этап и этап малорукавной наложенной дельты, характеризовался ярко выраженным преобладанием процессов аккумуляции речных наносов над процессами эрозии. Особенно интенсивное накопление наносов происходило на поверхности дельтовой равнины, где отложилось 548 млн. т наносов (табл. 1). Одновременно с повышением отметок местности, прилегающей к руслу Каргалинского прорыва, и нивелировкой первичного котловинно-грядистого рельефа происходило формирование русловых водотоков. Для их развития было характерно преимущественное врезание потока в подстилающие породы и сглаживание очертаний продольного профиля дна (рисунок), в результате чего в поток поступило 18,3 млн. т наносов или 3,4% стока взвешенных наносов в вершине наложенной дельты. К концу периода сформировалось малорукавное русло Каргалинского прорыва, врезанное в первичную поверхность и озерно-плавневые отложения наложенной дельты. Оно обеспечило неустойчивый транзит стока воды и наносов в Аграханский залив, вследствие чего в устье протоки Аликазгана началось развитие причлененной дельты выполнения.

II период (1940—1962 гг.) характеризуется активным развитием причлененной дельты выполнения (дельты Аликазгана) в Аграханском заливе. Причлененная дельта выдвигалась на акваторию залива с большой интенсивностью, достигшей к концу периода 0,88 км/год (табл. 2). Зна-

Таблица 1

Баланс наносов, млн. т, в дельте Каргалинского прорыва в различные периоды ее развития

Период	Годы	Приходная часть			Расходная часть (аккумуляция речных наносов)				
		речные наносы	размыв русла	морские наносы	в русле реки	в наложенной дельте	в приречной дельте выполнения	в приречной дельте выдвигания	на устьевом взморье
I	1914—1939	530	18,3	—	0	(548,3)	0	—	0
		20,4	0,70	—	0	(21,1)	0	—	0
II	1940—1962	342	9,20	—	5,06	(194,3)	146,7	—	5,14
		14,9	0,40	—	0,22	(8,45)	6,38	—	0,22
III	1963—1976	184	1,30	0,90	7,30	72,3	90	4,4	(12,2)
		13,1	0,09	0,90	0,52	5,16	6,43	4,4	(0,87)
IV	1977—1984	84,8	2,7	5	5	7,7	(18,6)	9,4	51,8
		10,6	0,33	0,6	0,6	0,96	2,3	1,2	6,5

Примечание. В числителе приведены суммарные величины составляющих баланса наносов, в знаменателе — их средние годовые значения; в скобках — величины, полученные расчетом по разности приходной и расходной частей.

Таблица 2

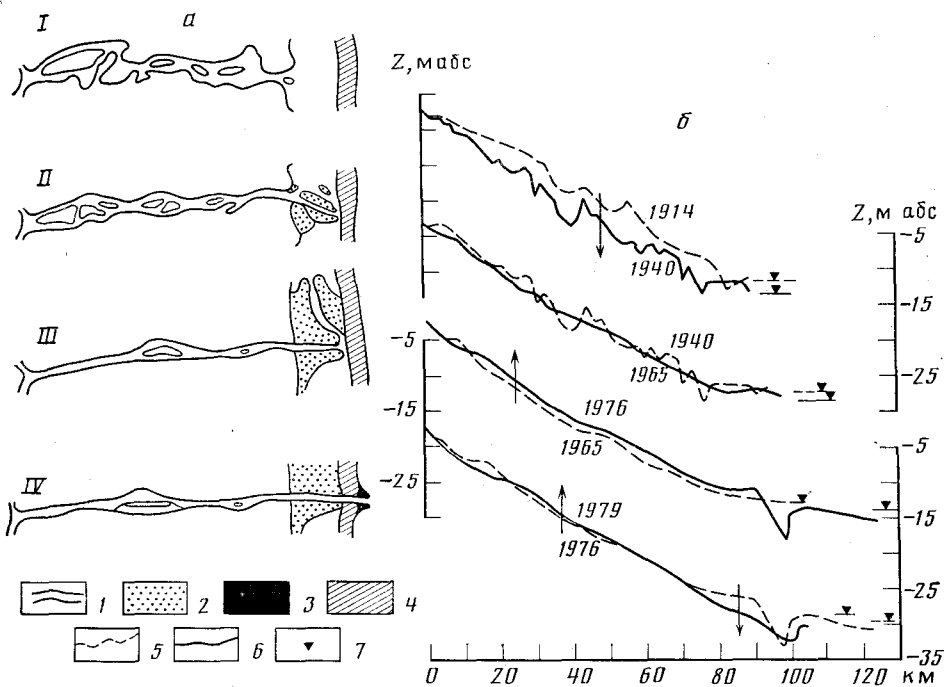
Морфометрические характеристики приречной дельты выполнения в Аграханском заливе (дельта Аликазгана)

Год	Площадь надводной части, км ²	Объем, млн. м ³	Длина надводной части, км	Интенсивность линейного прироста, км/год
1940	0	0	0	0,53
1954	46	53	8	0,88
1962	68	163	15	0,75
1970	86	209	21	0,75
1976	130	263	30	1,50

чительная величина устьевое удлинения русла Терека обуславливалась мелководностью залива и постоянно возрастающим стоком наносов, поступавшим в низовье реки вследствие формирования транзитного русла Каргалинского прорыва. Основная часть наносов накапливалась в зоне дельтообразования, вызывая увеличение длины, площади и объема приречной дельты, и лишь 7,2% стока наносов выносилось в Кизлярский залив.

Одновременно с развитием дельты Аликазгана продолжалось формирование наложенной дельты, включавшее два этапа: развитие много- и малорукавной дельты. На фоне последовательного упрощения русловой сети наложенной дельты происходила дальнейшая дифференциация отметок поймы и dna реки. В пределах пониженной дельтовой равнины отложилось 102 млн. т наносов, что привело к повышению отметок поймы на 0,5—1,5 м. Формирование русла сопровождалось дальнейшим врезанием потока в первичную поверхность дельтовой равнины при заметном (на 44%) снижении интенсивности эрозионных процессов по сравнению с предыдущим периодом.

Выдвижение русла реки и смещение зоны активного дельтообразования на акваторию Аграханского залива сопровождалось заметным изменением характера устьевых процессов в пределах наложенной дельты. Удлинение русла и уменьшение уклонов водной поверхности привели к снижению транспортирующей способности потока и аккумуляции части стока наносов непосредственно в русле реки. Аккумулятивные процессы были характерны в основном для нижней части русла Каргалинского



Развитие комплексной наложенно-причлененной дельты Терека (а) и перестройка продольного профиля дна на устьевом участке реки (б)

1 — очертания русла реки; 2 — дельта выполнения в Аграханском заливе (дельта Али-казгана); 3 — дельта выдвигания реки (новая дельта); 4 — Аграханский п-ов; 5, 6 — продольный профиль дна соответственно на начальный и конечный момент времени; 7 — уровень моря

прорыва, длина которой не превышала 10 км. Здесь интенсивность накопления наносов составляла 0,22 млн. т/год.

Поскольку повышение отметок дна ведет к уменьшению пропускной способности русла, влияние развития причлененной дельты на эволюцию наложенной может рассматриваться в более широком смысле. Уменьшение пропускной способности русла увеличивает вероятность высокого подъема уровней в период паводков и коренной перестройки гидрографической сети устьевой области, при которой изменится положение магистрального рукава в дельте Терека. Естественно, вероятность такой перестройки зависит от длительности процессов формирования причлененной дельты и характера распределения поступающих речных наносов по периметру морского края этой дельты.

Последнее обстоятельство тесно связано с эволюцией гидрографической сети дельты Аликазгана (табл. 2), поскольку рассредоточение стока наносов или его концентрация в ограниченном числе дельтовых водотоков изменяет интенсивность устьевого удлинения русла. Развитие причлененной дельты в пределах II периода делится на три этапа: формирование первичной устьевой отмели, мало- и многорукавной причлененной дельты выполнения.

III период (1963—1976 гг.) характеризовался дальнейшим смещением зоны активного протекания устьевых процессов на акваторию Аграханского залива. Если в 1940—1962 гг. в наложенной дельте отложилось 194 млн. т, то в 1963—1976 гг. на ее формирование пошло лишь 72,3 млн. т наносов, что свидетельствует о замедлении развития наложенной дельты Каргалинского прорыва. Наоборот, в причлененной дельте ежегодно накапливалось до 6,43 млн. т наносов. Большое поступление наносов и устойчивая тенденция к снижению уровня Каспийского моря вызывали быстрое ускорение темпов выдвигания причлененной дельты на акваторию залива. Постепенное упрощение структуры гидрографической сети этой дельты и преимущественное сосредоточение стока в одном

рукаве (Главный банк) сопровождалось увеличением интенсивности линейного прироста дельты с 0,75 до 1,5 км/год (табл. 2). Это в свою очередь привело к ускорению накопления наносов в русле реки на участках, расположенных выше вершины причлененной дельты. Ежегодно здесь аккумуляровалось до 0,52 млн. т наносов.

Повышение отметок продольного профиля дна в верхней зоне наложенной дельты (рисунок) было связано в основном с заметным снижением водности Терека вследствие естественного и антропогенного сокращения приходных составляющих водного баланса в бассейне реки и соответствующего уменьшения транспортирующей способности потока.

Дальнейшая активизация процессов удлинения реки и повышение отметок дна могли коренным образом изменить ход дельтообразования в устьевой области реки, т. е. привести к прорыву и началу нового цикла развития дельты Терека. Для предупреждения подобного исхода была создана прорезь через Аграханский п-ов, которая уменьшила длину устьевого участка на 25 км. В январе 1973 г. перемычка, отделявшая прорезь от русла реки, оказалась смытой и сток Терека устремился на открытое морское побережье, где началось формирование причлененной дельты выдвигания (так называемой новой дельты Терека). К сентябрю 1973 г. ее объем составил 5,4 млн. м³, из которых 18,5% было принесено в зону дельтообразования вдольбереговым потоком морских наносов.

Резкое сокращение длины устьевого участка привело к регрессивной эрозии дна русла, которая вызвала снижение отметок дна и увеличение пропускной способности русла на значительном удалении от дельты выдвигания [1—3]. Это обеспечило дополнительное поступление в поток 2,7 млн. т грунта. Кроме того, под влиянием процессов эрозии оказалась дельта Аликазгана. Практически полностью прекратилось поступление наносов в систему ее дельтовых водотоков, и истоки рукавов вследствие врезания основного рукава дельты оказались на более высоком гипсометрическом уровне. В пределах наложенной дельты, расположенной выше по течению, в этот период снизились темпы аккумуляции наносов на поверхности дельты, поскольку уменьшилась частота затопления поймы при прохождении паводочного стока.

После перекрытия прорези (в конце сентября 1973 г.) произошло частичное оживление процессов развития гидрографической сети дельты Аликазгана при быстром нарастании интенсивности аккумуляции наносов в ее рукавах. Одновременно началась активная переработка морским волнением причлененной дельты выдвигания, поскольку прекратилось поступление речных наносов на морской край этой дельты. Если до перекрытия прорези длина, площадь и объем этой дельты составляли соответственно 1,04 км; 1,2 км² и 5,4 млн. м³, то к 1977 г. длина дельты сократилась на 0,7 км, а ее объем — на 2,8 млн. м³. Дельта оказалась распластанной вдоль берега, но ее площадь практически не изменилась по сравнению с площадью в 1973 г.

IV период Каргалинского цикла дельтообразования начался летом 1977 г., когда повторно была открыта прорезь через Аграханский п-ов, и продолжается в настоящее время. На фоне общего снижения стока наносов в вершине наложенной дельты среднегодовое количество наносов, идущих на формирование этой дельты, стабилизировалось на уровне 0,96 млн. т. При наличии эрозионных процессов в русле Терека на нижних 20—30 км для устьевого участка в целом увеличились темпы аккумуляции наносов в русле реки вследствие антропогенного уменьшения стока воды. Практически прекратила развитие дельта Аликазгана, поскольку в систему ее дельтовых водотоков сток воды и наносов поступал только по искусственному каналу, созданному для обводнения северной части Аграханского залива. По приближенным оценкам, в эту часть залива поступало до 2,3 млн. т/год взвешенного материала.

Замедление развития наложенной и причлененной дельты выполнения залива было связано со смещением зоны активного дельтообразования на открытое морское побережье и формированием здесь причлененной дельты выдвигания. За 1977—1984 гг. объем дельты выдвигания увели-

чился на 5,5 млн. м³ и составил 10,4 млн. м³; ее площадь достигла 2,85 км², а длина — 1,5 км. Необходимо заметить, что из 9,4 млн. т наносов сформировавшихся конус выноса, 37,2% принесено рекой, а 62,8% — вдоль-береговым потоком морских наносов, ориентированным в основном с юга на север.

Выдвижение новой дельты Терека привело к постепенному затуханию процессов регрессивной эрозии, связанной с сокращением длины устьев-ового участка реки. Если в 1977—1979 гг. русло активно размывалось, что в среднем увеличило сток речных наносов на 0,33 млн. т/год, то в дальнейшем (при сохранении локальных зон врезания потока) на нижних 10—15 км реки господствующими стали процессы аккумуляции, связанные с устьевым удлинением русла при выдвижении новой дельты. С учетом аккумуляции наносов выше по течению реки общее количество взвешенного материала, перешедшего в состав донных отложений, составило 5,0 млн. т.

Таким образом, в низовьях реки в настоящее время вновь восстанавливаются условия накопления наносов в русле Каргалинского прорыва, и проблема регулирования устьевых процессов, частично решенная введением в строй прорези через Аграханский п-ов и сокращением длины дельты на 25 км, требует дальнейшего изучения и решения, поскольку достигнутая стабильность дельтовых рукавов носит временный характер.

Анализ процессов дельтообразования в устьевой области Терека показывает, что стабильность русловой сети в низовьях реки в основном зависит от баланса наносов вдоль устьевового участка. Следовательно, для стабилизации устьевых процессов в определенном районе дельты необходимо сохранить вдоль устьевового участка длиной Δx условие $\Delta R/\Delta x=0$, где ΔR — продольное изменение расхода наносов. Перенос наносов зависит от скоростей течения и, следовательно, от уклона водной поверхности. Поэтому меры по стабилизации процесса дельтообразования можно разрабатывать на основе поиска такого уклона, который соответствовал бы условию полного транзита речных наносов вниз по течению реки. Такой уклон отвечает уклону выработанного продольного профиля водотока в понимании Н. И. Маккавеева [5]. Авторами в качестве количественной характеристики выработанного продольного профиля принята величина «устойчивого» уклона водной поверхности I_0 , зависящего от характеристик стока воды и наносов [6]. Применительно к условиям дельты Терека связь между I_0 и определяющими факторами имеет вид

$$I_0 = k \frac{R^{3/4}}{Q^{1/4}},$$

где Q — руслоформирующий расход воды; R — соответствующий ему расход русловых наносов; k — эмпирический размерный коэффициент, равный $1,5 \cdot 10^{-3}$. Эта зависимость получена из совместного решения основных уравнений движения воды и наносов и проверена на материалах наблюдений в низовьях Терека [1, 6].

Величина фактического уклона водной поверхности $I = \Delta H/\Delta x$ зависит от падения уровня ΔH на участке реки длиной Δx и в общем случае не совпадает с величиной I_0 . Она изменяется вследствие изменения длины русла или колебаний уровня моря. Различие между I и I_0 обуславливает тенденцию и интенсивность развития русловых деформаций и характер процесса дельтообразования.

В настоящее время для устьевового участка Терека характерны процессы, связанные в основном с реализацией неравенства $I_0 > I$, которая определяет аккумуляцию наносов в верхней зоне устьевового участка вследствие продолжающегося сокращения стока воды, а в непосредственной близости от моря в результате выдвижения новой дельты Терека и некоторого повышения уровня Каспийского моря.

При стабильном режиме стока воды и наносов, уровня приемного водоема определяющее влияние на соотношение между I и I_0 оказывают процессы устьевового удлинения или укорочения русел дельтовых водото-

ков. Увеличение длины устьевое участка сопровождается уменьшением I , способствующим преимущественному накоплению наносов в русле реки, повышением русла, уменьшением его стабильности в соответствии с процессами, характерными для случая $I < I_0$. В противоположном случае, т. е. при сокращении длины реки, возникает условие $I > I_0$, русло размывается и увеличивается его пропускная способность. Вероятность прорыва реки в новом направлении к морю в этом случае заметно снижается, что стабилизирует русловую сеть и является, по-видимому, наиболее радикальным средством регулирования процессов дельтообразования в устьевой области реки.

Изменение уровня моря (при прочих равных условиях) сопровождается русловыми процессами, направленность которых зависит не только от тенденции изменения уровня, но и от морфологии устьевое взморье реки. Устьевое взморье Терека в районе формирования приключенной дельты выдвигания является отмелым; поэтому снижение базиса эрозии, по-видимому, не приведет к существенному изменению условий транспорта речных наносов и, следовательно, не может иметь серьезного стабилизирующего значения для дельтовых водотоков. При повышении уровня моря и возникновении условий, благоприятствующих накоплению речных наносов на устьевом участке реки ($I < I_0$), увеличивается вероятность дестабилизации русловой сети в периоды повышенного стока воды. Таким образом, при обосновании мероприятий, регулирующих русловую режим дельты Терека, необходимо учитывать негативное влияние на стабилизацию сети дельтовых рукавов повышения уровня моря.

Из приведенной зависимости следует, что увеличение расхода русловых наносов вызывает увеличение I_0 и приводит к возникновению условия $I < I_0$ при неизменности прочих определяющих факторов. Это условие соответствует аккумулятивной направленности русловых переформирований на устьевом участке реки и характеризует возникновение предпосылок к прорыву и началу нового цикла дельтообразования. Наоборот, неравенство $I > I_0$, возникающее при возможном сокращении стока наносов в вершине дельты, предполагает понижение отметок продольного профиля дна в низовьях реки, увеличение пропускной способности русла и уменьшение вероятности крупной перестройки русловой сети в дельте Терека. Поскольку проблема снижения стока наносов может быть частично решена сооружением водохранилищ, то подобный вариант стабилизации устьевых процессов на Тереке представляется вполне реальным.

Величина I_0 зависит от водности Каргалинского прорыва. Естественное или антропогенное снижение руслоформирующего расхода воды ведет к увеличению I_0 и возникновению процессов аккумуляции наносов на устьевом участке в соответствии с неравенством $I < I_0$. Увеличение водоносности реки, наоборот, стимулирует эрозию дна и берегов, сопровождается увеличением пропускной способности русла.

Литература

1. Алексеевский Н. И., Михайлов В. Н. Теоретические схемы русловых переформирований на устьевых участках рек и их применение в дельте Терека//Тр. Севкавгипроводхоза. 1983. № 9. С. 79—91.
2. Алексеевский Н. И., Михайлов В. Н., Сидорчук А. Ю. История формирования русла Каргалинского прорыва дельты Терека//Палеогеография Каспийского и Аральского морей в кайнозое. Ч. 1. М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 126—134.
3. Алексеевский Н. И., Михайлов В. Н., Сидорчук А. Ю. Гидролого-морфометрическое обоснование оптимального регулирования русла в низовьях р. Терек//Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1985. № 4. С. 99—105.
4. Байдин С. С. Современные процессы дельтообразования в устье Терека//Тр. ГОИН. 1970. Вып. 98. С. 49—59.
5. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
6. Михайлов В. Н. Динамика потока и русла в неприливых устьях рек. М.: Гидрометеоздат, 1971. 259 с.