

Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова

МГП "Системы и средства автоматизации"



директор МГП

/В.А.Васенин/

ОТЧЕТ

по научно-исследовательской работе

"Исследование русловых процессов на реках в бассейне
р.Терека и разработка рекомендаций по снижению не-
благоприятных последствий от них при регулировании
стока воды"

I этап: "Обобщение материалов исследований
морфологии и динамики русла р.Терек в низовьях"

Ответственный исполнитель

к.г.н., вед.н.с.

/А.Ю.Сидорчук/

Москва 1991 г.

Оглавление

Введение.....	3
Глава I. Продольный профиль реки.....	4
I.1. Переформирование продольного профиля русла р.Терек.....	4
I.2. Теоретические предпосылки расчета выработанного продольного профиля реки.....	19
I.3. Формирование новой дельты Терека.....	24
I.4. Ожидаемые переформирования продольного профиля русла на устьевом участке Терека.....	37
I.5. Проблемы регулирования русла в низовьях Терека методами активизации руслового процесса.....	45
Заключение.....	53

Введение

Настоящий отчет составлен на основе материалов исследования низовьев р.Терека /от Каргалинского гидроузла до моря/ в 1979-1987 гг, данных изучения новой дельты Терека в 1979-1990 гг, и теоретических разработок 1980-1990 гг. Перечисленные натурные изыскания проводились Русловой экспедицией географического факультета МГУ и полевыми партиями отделов гидрологии, топографии и геологии Севкавгипроводхоза. Теоретические разработки принадлежат проф. В.Н.Михайлову, доц.Н.И.Алексеевскому, вед.н.с. А.Ю.Сидорчуку /Географический факультет МГУ/. Текст настоящего отчета составлен последним. Проведено обобщение результатов исследования формирования наложенной дельты Каргалинского прорыва, причлененной дельты Аликазгана, новой дельты Терека. Выполнены расчеты положения выработанного продольного профиля русла реки в низовьях. Предложены пути регулирования русла Терека.

Глава I. Продольный профиль реки.

Продольный профиль русла реки — характеристика формы русла, включающая в себя все остальные, более мелкие русловые формы. Эта характеристика определяется уклонами дна русла (по осредненным или характерным отметкам) и их изменением по длине русла реки или его участка. При рассмотрении продольного профиля реки необходим синтез внутренней структуры потока и рельефа русла с характеристиками внешних связей системы поток-русло и анализ процесса саморегулирования системы как единого целого.

Саморегулирование системы поток-русло на уровне продольного профиля русла заключается в спонтанном приведении баланса наносов по длине русла к нулю, то есть к редукции русловых переформирований и увеличению устойчивости системы. Как показано Н.И.Маккаевым, состояние равновесия и равенство нулю баланса наносов по длине русла может наступить только в случае полного исчезновения уклона свободной поверхности потока, то есть исчезновения реки как объекта. В водотоке может установиться только временный нулевой баланс наносов, существовать динамически устойчивый, выработанный, по терминологии Н.И.Маккаева, продольный профиль.

На реках с большим стоком наносов состояние выработанного профиля достигается очень быстро даже при резких изменениях внешних факторов и структуры руслового рельефа.

I.I. Переформирование продольного профиля русла р.Терек.

Характерным примером является русло нижнего Терека (от Каргалинского гидроузла до моря) процессы переформирования которого автор совместно с Н.И.Алексеевским и В.Н.Михайловым

изучает с 1979 года.

Река Терек в низовьях при годовом стоке воды $8,7 \text{ км}^3$ переносит в среднем за год $16,1$ млн. т наносов (мутность $1,85 \text{ кг/м}^3$). В сочетании с малыми уклонами Хвалынской дельтовой равнины, на поверхности которой в настоящее время откладывается аллювий Терека в виде наложенных дельт, это приводит к повышенной динамичности русловых процессов в русле реки и его рукавах, а также значительной изменчивости гидрографической сети рукавов в низовьях Терека. За последние 500 лет в низовьях Терека произошло 7 циклов развития частных наложенных дельт и формирование систем магистральных дельтовых рукавов Куру-Терека (XVI в), Сулу-Чубутлы (XVII в), Старого (начало XVIII в) и Нового (конец XVIII в) Терека, Бороздинской прорвы (начало XIX в), Таловки (конец XIX в). В 1914 году произошел последний, Каргалинский, прорыв Терека, когда во время катастрофического паводка в июле-августе с расходами воды более $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ воды Терека устремились в небольшой правобережный проток Каргалинка. Этот проток за несколько лет разработался до размеров главного русла и в него начало поступать 80-100% расхода воды реки выше головы прорыва.

На обширной (более 7400 км^2) южной части дельтовой равнины Терека начал формироваться новый магистральный рукав - русло Каргалинского прорыва. Его формирование и развитие можно разделить на 4 периода:

Первый период (1914-1939) - период несформировавшегося русла и невыработанного продольного профиля. Это период активного формирования современной наложенной дельты на поверхности хвалынской дельтовой равнины, он включает озерно-плавневый этап и этап малорукавной наложенной дельты. Поверх-

ность хвалынской дельтовой равнины характеризовалась общим наклоном в сторону Каспийского моря — средний уклон составлял 0,31‰. На этой поверхности существовал гривисто-котловинный рельеф. Гривы являлись либо аллювиальными комплексами древних прирусловых валов (в западной части зоны Каргалинского прорыва) рек Акташа, Аксая и рукавов Терека, либо морскими барами трастрессивных стадий новокаспийского бассейна (в восточной части зоны). Эти гривы обычно располагались перпендикулярно общему наклону поверхности и разделяли ее на ряд котловин, обычно с длинной осью по простиранию генерального наклона территории. После затопления территории водами Терека в котловинах сформировались озерные участки русла Каргалинского прорыва, с малыми уклонами и скоростями течения, на гривах — русловые участки с быстринами и водопадами. Соответственно, активно проходили как процессы аккумуляции, так и процессы эрозии. В озерах и на пойме за I период отложилось около 550 млн. т наносов (расчеты баланса наносов произведены Н.И.Алексеевским и автором), в пределах грив происходила интенсивная эрозия. После того, как были прорезаны руслом основные местные базисы эрозии, произошло общее врезание оформившегося к концу первого периода русла Каргалинского прорыва как в коренные гривы, так и озерно-плавневые отложения, сформированные уже наносами Терека. Интенсивность врезания на гривах составляла до 15–20 см/год, скорость регрессивного отступления уступов в русле с быстринами достигала 2–3 км/год. В ходе этого врезания в русло поступило 18,3 млн. т наносов, или 3,4% стока взвешенных наносов в голове прорыва. Это примерно соответствует стоку наносов в низовьях рукава в 1939–40 г.г. Общее врезание русла Каргалинского прорыва в конце первого периода его развития обусловлено тем, что уклон первичной поверхности хвалынской дельтовой

7

равнины был больше уклонов выработанного продольного профиля Терека того периода. Продольный профиль русла был ступенчатый. Выше грив сформировались широкие озеровидные мелководные плесы, на гривах - глинистые перекаты, ниже грив - врезанные в отложения дельтовой равнины узкие глубокие русловые плесы. Средний уклон русла составлял 0,275‰, ширина русла - 40-60 м, глубина в озерных плесах - 1,0-1,2 м, на глинистых перекатах - несколько десятков см, в русловых плесах - до 13 м. Берега низкие, илистые, заросшие тростником, трудноразмываемые. Русло врезанное в эти связные отложения, с крутыми коленообразными изгибами, повторяющими первичные изгибы потока в озерах среди плавневых зарослей, или с осередками и островами из коренных пород - останцами обтекания при врезании потока несколькими рукавами в гриву. Практически не наблюдалось донных грунтов песчаных фракций, соответственно не было подвижных русловых гряд. Первый период развития русла Каргалинского прорыва совпал с периодом наиболее интенсивного снижения уровня Каспийского моря (за 1932-1941 г.г. - на 175см).

В начале периода наличие многочисленных местных базисов эрозии обусловило отсутствие связи трансформации русла и понижения уровня приемного водоема. Однако в конце периода, когда основная часть местных базисов эрозии была уничтожена в ходе размыва слагающих их отклонений, уровень приемного водоема начал снижать влияние на трансформацию продольного профиля в низовьях Терека.

Водность Терека в 1914-39 г.г. была выше средней. Это был многоводный период в цикле многолетней изменчивости стока реки, и разбор воды на орошение в тот период был минимальным. Однако расходы воды в русле, только оформляющем

свой облик, на многих участках были невелики, и только к концу I периода на всем протяжении нижнего Терека по нему начал проходить расход воды $800 \text{ м}^3/\text{с}$, а величина руслоформирующего расхода воды составила $720 \text{ м}^3/\text{с}$.

Второй период развития продольного профиля русла Каргалинского прорыва (1940–1962 г.г.) проходил на фоне естественного понижения водности реки, которое было усугублено увеличением объема стока на орошение (площади орошаемых земель в бассейне реки увеличились за этот период более чем вдвое. В результате среднегодовой расход воды в реке уменьшился до 260 , а руслоформирующий – до $380 \text{ м}^3/\text{с}$.

Продолжалось врезание русла на верхнем его участке (0–35 км от головы прорыва). Здесь глубина вреза в среднем составила к 1962 году 0,6 м, достигая на отдельных участках 3,0 м. В результате средний уклон русла уменьшился до 0,26%. В поток поступило за этот период дополнительно 9,2 млн. т наносов. Одновременно происходило быстрое заполнение наносами неурегулированных плесовых ложин и даже исчезнувших местных базисов эрозии. В русловом плесе в 35 км от головы прорыва за 1940–62 г.г. отметки дна увеличились с $-23,0$ до $-15,0$, на 55 км – с $-27,0$ до $-21,0$, на 80 км – от $-32,0$ до $-26,0$ м. Средний слой аккумуляции материала в плесах составил 2,1 м, достигая в ряде случаев 6–7 м. Всего за 2 периода в русле отложилось до 5,0 млн. т песчаных наносов.

Во втором периоде формирования русла Каргалинского прорыва возникла и интенсивно развивалась дельта выполнения Аграханского залива – дельта Аликазгана. К 1962 году устьевое удлинение составило 15 км. Понижение уровня Каспийского моря за 1940–62 г.г. стимулировало устьевое удлинение и некоторое врезание основного рукава дельты – в 1962 году глубина вреза Главного банка в отложения бывшего залива состав-

ляло 1-2 м. Однако уклон дна Главного банка не превышал 0,16‰, а устьевое удлинение вызвало уменьшение уклонов в нижней части русла до 0,1-0,12 ‰, что стимулировало осадконакопление на этом участке русла.

Третий период формирования русла Каргалинского прорыва (1963-1976 г.г.) характеризуется дальнейшим уменьшением стока воды в низовьях реки, несмотря на начало многоводного периода в ее бассейне. Это вызвано значительным (в 1,7 раза по сравнению со 2 периодом) увеличением площади орошаемых земель и прогрессирующим разбором вод на орошение. Руслоформирующий расход воды у Каргалинского гидроузла уменьшился до 175 м³/с, у в/п Аликазган - до 125 м³/с.

Это был период активной аккумуляции наносов в русле. В пределах наложенной дельты (0-90 км) отметки дна в среднем увеличились на 0,2-0,5 м за счет накопления в русле 7,3 млн. т наносов. Эта аккумуляция привела к увеличению уклона дна русла до 0,28 ‰. Для предотвращения дальнейшего накопления наносов на верхних 38 км русла в 1967-76 г.г. было осуществлено спрямление 9 наиболее крутых излучин; в результате чего длина реки сократилась на 4 км. Однако прорезы были заложены в плотных суглинках, которые слагают шейки врезанных в плавневые отложения излучин русла в низовьях Терека. Здесь возникли местные базы эрозии, которые препятствовали быстрому саморазмыву прорезей, понижению дна русла и свободной поверхности потока. К 1976 году эффект спрямляющих прорезей на верхнем участке русла еще не проявился.

С третьим периодом формирования русла Каргалинского прорыва связано интенсивное выдвижение дельты Аликазгана - за 15 лет на 15 км. При этом скорость ее выдвижения все вре-

мя увеличивалась: в 1963-73 г.г. - 0,75 км/год, в 1974-1976 - 1,5 км/год. Темпы аккумуляции были столь высокими, что несмотря на понижение уровня Каспийского моря в рукавах дельты Аликазгана не отмечалось признаков врезания. Так, Северный банк сформировал русло в гриве из собственных отложений высотой 2-3 м. Уклон дна не превышал здесь 0,08-0,1%. Активное устьевое удлинение привело к уменьшению уклона свободной поверхности до 0,09% нижней части русла в пределах наложенной дельты. У в/п Аликазган скорость аккумуляции наносов в русле достигала 8 см/год, в целом аккумуляция на нижнем участке русла составляла 0,52 млн.т в год.

Аккумуляция наносов на нижнем участке была искусственно прервана в январе-сентябре 1973 года, когда в результате прорыва перемычки сток Терека устремился к морю по сооруженной, но законсервированной прорези через Аграханский полуостров. Длина русла уменьшилась на 25 км - участок дельтовых рукавов и залива общей длиной 30 км были заменены прорезью длиной 5 км. Уклон водной поверхности в прорези составил в январе 1973 г. 8,0%, в сентябре - 0,37%. Резкое увеличение уклонов и скоростей потока привело к интенсивной регрессивной эрозии дна реки. В первые 3 месяца работы прорези регрессивная эрозия распространилась вверх по руслу на 15 км, к сентябрю охватила участок в 20-25 км. Максимальный размыв дна составил 2,2 м, общий объем вынесенного материала - 1,8 млн. т. В конце сентября 1973 года перемычка в голове прорези была восстановлена. Резкое уменьшение уклонов водной поверхности привело к восстановлению режима аккумуляции наносов на нижнем участке русла - в 1974-76 г.г. здесь отложилось 1,4 млн.т наносов. Однако следы переуглубления сохранились до конца третьего периода - продольный профиль дна реки в 1976

году располагался ниже, чем в 1962 на участке ниже 90 км.

Гидрологические условия на верхней границе русла Каргалинского прорыва в 4 периода его развития (с августа 1977 года по настоящее время) мало отличаются от условий предыдущего периода. Руслоформирующие расходы воды не уменьшились, не изменился и естественный сток воды и наносов в реке.

Соответственно, на верхнем участке русла (0-60 км от головы прорыва) сохранилась тенденция к аккумуляции наносов. Продольный профиль 1979 г. был расположен на 0,2-0,8 м выше продольного профиля 1976 г., в русле накопилось за этот период 5,0 млн. тонн. В 1979-87 г.г. аккумуляция продолжалась, но темпы ее уменьшились и уменьшилась область проявления - на участке 0-40 км накопилось около 1,6 млн. т наносов.

В четвертом периоде развития русла Каргалинского прорыва наиболее существенные изменения продольного профиля русла произошли на нижнем его участке. Эти переформирования были вызваны вторичным открытием прорези через Аграханский полуостров и повышением уровня Каспийского моря.

К лету 1977 года северная часть Аграханского залива была практически полностью выполнена причлененной дельтой Аликазгана. Свободная водная поверхность прослеживалась только по рукавам дельты - Северному и Среднему банкам. Остальная часть акватории залива заросла тростником и кустарником. К северу от мыса Гослаббекова коса русла Терека терялась в заросших тростником плавнях с глубинами воды 5-30 см, сосредоточенный поток фиксировался только в рыбоходе, прорытом через Чаканные ворота до моря. В заливе оседали практически все фракции наносов, поступающих из реки, роль морского волнения в трансформации дельты была незначительна. Прекращение устьевого удлинения Терека и стабилизация русла Каргалинско-

го прорыва в условиях его впадения в Аграханский, а в недалеком будущем – в Кизлярский залив, была невозможна.

В 1977 г. при наибольшем расходе воды в низовьях Терека $301 \text{ м}^3/\text{с}$ уровни воды в южной части Аграханского залива увеличились до отметки – 24,33 м БС. В результате между руслом Терека и Дзержинским каналом, а также по всему периметру Аграханского залива было затоплено 48 тыс. га сельскохозяйственных земель и возникла угроза затопления поселка Новая Коса. Эти обстоятельства привели к вынужденному открытию прорези через Аграханский полуостров в августе 1977 года без компенсирующих природоохранных мероприятий.

В результате введения прорези в эксплуатацию длина Терека уменьшилась вторично на 25 км. Уровень воды в голове прорези уменьшился на 3,0 м. На нижнем участке русла сформировалась кривая спада свободной поверхности воды в уклонами в прорези 0,80‰. Началась интенсивная эрозия дна и берегов прорези и русла реки. Уже через месяц зона увеличения уклонов свободной поверхности воды и глубинной эрозии русла распространились на 20 км вверх по реке, к концу 1978 г. (через 13 мес после открытия прорези) на 45 км.

Область максимального размыва, соответствующая области максимального увеличения уклона поверхности воды, через год после открытия прорези располагалась в 10 км от устья реки (размыв здесь составил 2,1 м), через 2 года – 15 км (2,3 м), через 6 лет – в 20 (1 м), через 10 лет – в 26 км (0,4 м). По данным неоднократных повторных промеров изыскательских партий Севкавгипроводхоза и МГУ, проведенных на базе единой планово-высотной основы, в целом в русле Терека было размыто с 1977 г. по 1987 г. $2,57 \text{ млн. м}^3$ наносов, из которых $1,97 \text{ млн. м}^3$ было вынесено в море, а остальные перетолжились в русле.

Глубинная эрозия дна русла и увеличение уклонов водной поверхности привели к существенному увеличению пропускной способности русла (табл. I.1). Впервые за всю историю существования русла Каргалинского прорыва у Аликазгана пропускная способность в бровках русла составила 750–990 м³/с. В 1978, 1982, 1984, 1987 г.г. по Тереку прошли паводки с максимальными расходами воды в низовьях 600–800 м³/с, эти паводки не вызвали размыва валов и наводнений, так как большая часть расхода воды проходила в бровках русла реки.

Увеличение пропускной способности русла в пределах бровок привело к интенсификации размывов берегов русла. Во время паводка 1978 г. размыв берегов произошел практически на всем протяжении участка активной глубинной эрозии, его величина местами превосходила 20 м, в среднем составила 6 м. Наиболее активно размывались берега в пределах прорези через Аграханский полуостров. Во время прорыва 1973 года, когда расходы воды не превышали 400 м³/с, пионерный канал шириной 100 м саморазмывом расширился на 3–40 м, причем интенсивность размыва берегов увеличилась от головы к устью канала. В устьевом створе ширина прорези увеличилась на 230 м, в нижней части она приобрела воронкообразную форму. Размыв берегов в прорези был еще более интенсивным после второго пуска через нее вод Терека, особенно в 1978 году. К концу 1980 г. он составил в среднем 40 м, средняя ширина прорези достигла 170 м. Наиболее существенные плановые деформации произошли в 1977–78 г.г. непосредственно у остатков перемычки, отделяющей прорезь от реки. При открытии прорези в августе 1977 года перемычка была взорвана у левого берега канала. Размыв сосредоточился в месте прорыва, а так как перемычка была сложена тяжелыми грунтами и бетонными блоками,

Таблица I.I

Изменение пропускной способности русла р.Терек,
 $\text{м}^3/\text{с}$, на участке Томаза-Тюбе -устье под влиянием открытия прорези
 через Аграханский полуостров и повышения уровня Каспийского
 моря

Расстояние от Каргатин- ского гидро- узла, км	1976	1977	1978	1979	1983	1987
62,42	650	-	-	648	765	750
74,26	450	460	520	614	818	720
84,34	310	310	700	702	989	515
86,59	-	369	-	664	-	320
90,38	250	481	510	731	626	430
95,92	200	496	790	639	266	400
99,48	170	445	525	871	329	510

поток обогнул ее слева, разработав излучину в эоловых отложениях Аграханского полуострова, размыв берега составил 100-150 м. Ниже верхней излучины, шпорой которой являлись остатки перемычки, уже к маю 1978 года заложилась вторая излучина, это сопровождалось размывом правого берега на 70-80 м. До 1980-81 г.г. эта система двух излучин смещалась вниз по прорези. Размыв берегов также привел к увеличению пропускной способности русла в бровках.

Важно отметить, что вынужденное открытие прорези через Аграханский полуостров состоялось в год, когда наблюдался самый низкий за последние 100 лет уровень Каспийского моря (-29,01 м) и самый маленький паводковый расход воды за период 1963-1985 гг. - 301 м³/с. Произошло случайное совпадение благоприятных гидрологических условий с точки зрения снижения вероятности наводнений, и тем не менее в 1977 г. было затоплено 48 тыс.га земель. Если бы прорезь была законсервирована и дальше, то наводнение в низовьях реки достигло бы катастрофических размеров уже в следующем, 1978 г. В этом году максимальный расход у с.Аликазган составил 807 м³/с, кроме того, в течение лета было еще 4 пика паводков с расходами ~ 500 м³/с. Уровень Каспийского моря с 1977 г. повысился на 6 см. Все это привело бы к увеличению уровня воды в южной части Аграханского залива до отметки -23 м и, вероятно, прорывам валов, что вызвало бы затопление обширных земель от Томаза-Тюбе до Аграханского полуострова общей площадью ~ 60 тыс.га, с поселками Новая Коса, Разгул-Аул, многочисленными фермами и временными станами. Воды Террека стали бы сливаться в Мектебский сброс и по нему в Каспийское море. В условиях открытой прорези через Аграханский полуостров всех этих катастрофических явлений не произошло;

воды Терека прошли в основном в пределах русла и поймы с затоплением межвалового пространства на I-I,2 м, без разрушения валов.

Уже во второй половине 1978 г. в нижней части зоны регрессивной эрозии началась аккумуляция наносов. К концу 1978 г. отметки дна в прорези поднялись на 0,2-0,3 м, а общий объем аккумуляции составил 56 тыс.м³. Эта аккумуляция лишь в малой степени определялась повышением уровня Каспийского моря, которое к этому времени составило 6 см. Основная же причина - уменьшение уклонов поверхности воды в прорези с $8,0 \cdot 10^{-4}$ до $0,8 \div 5,0 \cdot 10^{-4}$ в ходе смещения зоны их увеличения вверх по реке. Кроме того, произошла компенсация сильного переуглубления дна прорези, когда увеличение уклонов совпало с прохождением максимальных летних паводков. Таким образом, аккумуляция наносов в прорези в конце 1978 г. - закономерное явление для нижней части зоны регрессивной эрозии.

Однако уже в 1979 г. аккумуляция наносов в прорези (335 тыс.м³) превосходила по интенсивности размыв русла на вышележащем участке (256 тыс.м³). Аккумуляровались не только продукты размыва, но и приносимые рекой наносы. Это было связано как с уменьшением уклонов в устьевой зоне реки за счет продвижения вверх по руслу максимума интенсивности размыва, так и с подпором вод Терека за счет повышения уровня Каспийского моря за 1979 г. на 37 см.

С 1979 по 1987 г. уровень Каспийского моря поднялся на 92 см (по среднегодовым уровням в/п Махачкала). Это было основной причиной уменьшения уклона свободной поверхности воды в голове прорези с $4,9 \cdot 10^{-4}$ в 1979 г. до $1,8 \cdot 10^{-4}$ в 1987 г., снижения скоростей течения и аккумуляции наносов.

Существенное влияние на трансформацию продольного профиля в низовьях Терека оказало введение в 1980 г. в эксплуатацию канала Кубякинский банк, который ответвлялся от Терека в 86 км от Каргалинского гидроузла. Этот канал был создан для сохранения старых путей миграции осетровых рыб и соединял Терек с остатками северной части Аграханского залива. Уклоны в верхней части канала превышали уклоны в русле Терека, и в канал в 1981–1986 гг. поступило в среднем 40% стока воды и наносов реки. Ниже ответвления канала размеры русла Терека не соответствовали существенно сократившемуся стоку воды; это также привело к уменьшению скоростей течения в русле Терека ниже истоков канала и аккумуляции наносов.

К 1987 г. в русле Терека общий объем аккумуляции наносов составил 3,91 млн. м³. Полностью компенсирован интенсивный размыв 1977–1978 г.г., в прорези отметки дна стали больше, чем до ее вторичного открытия, на большем протяжении русла нижнего Терека они практически сравнялись с отметками до открытия прорези.

В пределах прорези через Аграханский полуостров аккумуляция наносов в условиях уменьшенного стока воды привела не только к повышению отметок дна, но и к сокращению ширины русла, особенно на его поворотах. Здесь в выбоинах вогнутого берега сформировались обширные побочни, которые к настоящему времени стабилизированы тонкими наносами на их поверхности и зарослями тростника.

Интенсивная аккумуляция наносов происходила в 1980–1987 гг. в русле Кубякинского банка. Здесь отметки дна увеличились в среднем на 2–3 м и его пропускная способность уменьшилась местами до 80 м³/с. Одновременно продолжалось заиление остаточных емкостей в северной части Аграханского

залива, куда поступило в 1980-1987 гг. 17,4 млн.м³ наносов. Однако в ряде участков по трассе Кубякинского банка современные уровни воды на 2-3 м выше окружающей местности. Еще возможен сброс части стока воды и наносов Терека в северную часть Аграханского залива при условии расчистки Кубякинского банка или создания другого канала.

К концу 1987 г. в низовьях Терека отметки дна русла увеличились до их значений в 1976 г., когда в низовьях реки сложилась критическая ситуация. Истоки Кубякинского банка в конце 1987 г. были забиты наносами, и весь сток Терека проходил по основному руслу. Ширина русла на 5-30 м больше, чем до открытия прорези, уклоны свободной поверхности - в 1,6-2,3 раза больше. Пропускная способность русла в 1987 г. больше, чем в 1976, на участке Томаза-Тюбе - устье она составляет 320-820 м³/с (табл. I.1). Самая низкая пропускная способность на участке русла ниже головы Кубякинского банка, где происходила наиболее активная аккумуляция наносов. С учетом обвалования на участке русла Терека от Томаза-Тюбе до Аликазгана пропускная способность колеблется в основном в пределах 1050-1500 м³/с, что намного меньше расчетных расходов I%-ной обеспеченности (2000 м³/с). Местами, на участках с наиболее разрушенными валами, пропускная способность уменьшается до 800 м³/с. Ниже с. Аликазган повсеместно валы неустойчивые. Уже при расходах воды ~ 700-800 м³/с произойдет затопление сельскохозяйственных угодий как по левому, так и по правому берегу реки. Вся вода, вышедшая на пойму правого берега, попадает в южную часть Аграханского залива. При значительной величине паводка и его продолжительности залив может переполниться и затопить села Разгул-Аул и Новая Коса, а также фермы и полевые станы.

Таким образом, открытие в 1977 г. прорези через Аграханский полуостров даже в условиях повышения уровня Каспийского моря (более чем на 1,3 м за 10 лет) способствовало предотвращению наводнений в низовьях Терека во время паводков с максимальными расходами воды 500-800 м³/с в створе в/п Аликазган. Однако полное заиление к 1987 г. призмы размыва русла за счет снижения скоростей потока (из-за уменьшения уклонов при повышении уровня моря и сокращения расхода воды ниже ответвления Кубякинского банка) привело к существенному уменьшению пропускной способности русла. В условиях полного заиления Кубякинского банка и стабилизации уровней Каспийского моря на отметках 1987 г. уровни воды в реке приблизятся к уровням, существовавшим в низовьях реки до открытия прорези. Сложится критическая гидрологическая ситуация с большой вероятностью затопления населенных пунктов, ферм, сельскохозяйственных угодий.

В случае дальнейшего подъема уровней Каспийского моря дно русла и уровни воды в реке будут повышаться пропорционально морским, угроза наводнений будет существенно увеличиваться.

Поэтому в настоящее время, как никогда ранее, назрела необходимость прогноза деформаций продольного профиля Терека в низовьях и разработки системы гидротехнических сооружений для защиты земель от наводнений.

1.2. Теоретические предпосылки расчета выработанного продольного профиля реки.

Рассмотренная история трансформации продольного профиля русла Каргалинского прорыва р.Терека показывает, насколько

ко разнообразны причины этих трансформаций. Изменялась структура руслового рельефа в реке и, соответственно, шероховатость русла. Изменялась форма русла (обычно искусственно) и его длина. Эти изменения позволяют проследить влияние внутренних связей в системе поток-русло на морфологию и динамику продольного профиля реки. Менялись также внешние факторы - сток воды и наносов, их распределение по величинам, положение базиса эрозии. Это позволяет проследить воздействие на продольный профиль реки внешних факторов.

Теория формирования выработанного продольного профиля реки базируется на анализе уравнения деформации

$$(1-p) \frac{\partial z_0}{\partial t} = - \frac{\partial q_s}{\partial x}$$

Для выработанного продольного профиля характерна неизменность во времени отметок дна $\partial z_0 / \partial t = 0$, это условие выдерживается при неизменности расхода наносов по длине реки

$$\frac{\partial q_s}{\partial x} = 0,$$

или

$$q_s = \rho_p q = const.$$

Таким образом принципиальное значение для вычисления отметок выработанного продольного профиля реки имеет расчет мутности всды за счет руслообразующих наносов в устойчивом русле.

На р.Тереке устойчивым является отрезок русла реки от устья Сунжи до Каргалинского гидроузла. Детальные повторные промеры показали, что здесь отметки дна реки в среднем остались неизменными с начала XX века. На этом участке в районе с.Парабоч нами были проведены детальные наблюдения за мутностью воды при разных гидравлических характеристиках потока, а также наблюдения за движением донных гряд. Эти наблюдения

позволили констатировать, что достаточно надежно расчет расхода руслообразующих наносов можно проводить по формуле К.И.Россинского и И.А.Кузьмина:

$$q_s = a \frac{u^4}{\omega}$$

Привлекая формулу расхода воды

$$Q = u n b$$

получим

$$u = \sqrt[4]{\frac{q_s \omega}{a}} ; \tag{I-1}$$

$$H = \frac{Q}{b \sqrt[4]{\frac{q_s \omega}{a}}} . \tag{I-2}$$

Если нет данных об изменении величины q_s с расходом воды на устойчивом участке русла, можно привлечь формулу К.В.Гришанина, связывающие гидравлические параметры устойчивых плесов однорукавных русел рек

$$H = M \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{g b}} ;$$

и тогда

$$q_s = \frac{a g}{\omega M} \frac{Q^2}{b^3}$$

Анализ формул (I-1) и (I-2) показывает, что в русле с выработанным продольным профилем при неизменном расходе воды и увеличении поступления наносов в русло скорость потока увеличивается, а глубина уменьшается.

Вычисление отметок выработанного продольного профиля осуществляется по следующему алгоритму: По уравнению движения неравномерного установившегося потока (в конечных разностях)

$$z_i = z_{i-1} + (1+\psi) \frac{u_i}{g} (u_{i-1} - u_i) + \frac{u_i^2 \Delta x}{C_o^2 H_i} \quad (I-3)$$

рассчитывается изменение по длине потока отметки свободной поверхности z_i . $\psi = 0$ при $u_i > u_{i-1}$ и $\psi = -1$ при $u_i < u_{i-1}$. Тогда отметки дна z_o при расходе воды Q_j определяются по формуле

$$z_{oij} = z_{ij} - H_{ij} \quad (I-4)$$

Существенное значение имеют два момента:

1) Расчет коэффициента Шези C_o . Исследования на реках показали, что простые зависимости для расчета коэффициента Шези типа формулы Штриклера совершенно не отражают природного процесса. Данные наблюдений на Тереке показывают, что шероховатость русла уменьшается с увеличением скорости потока, видимо, вследствие смыва донных гряд. Коэффициент Шези (обратный шероховатости русла) увеличивается с увеличением числа Фруда, равного u/\sqrt{gH} по зависимости

$$\frac{C_o}{\sqrt{g}} = \sqrt{k \left(\frac{H_{ij}}{d_{ij}} \right)^{1/3} \frac{u_{ij}}{\sqrt{gH_{ij}}}} \quad (I-5)$$

где d - диаметр влекаемых наносов.

2. Граничные условия. Если имеются отметки уровня воды и на верхней, и на нижней границах расчетного участка, и эти отметки не зависят от русловых преформирований, коэффициент k в формуле (I-5) определяется подбором. В устье р.Терека на участке Каргалинский гидроузел - море характерна именно эта ситуация: на верхней границе отметка уровня определяется расходом воды через шлюзы плотины; на нижней границе - уровнем Каспийского моря. Если одна из отметок не может быть задана, тогда необходима достоверная оценка коэф-

коэффициента K и обоснование его независимости от русловых переформирований. Для русла р.Терека $K = 420$.

Выработанный продольный профиль, как следует из (I-4), существенно зависит от расчетного расхода воды Q_j . При увеличении расхода воды отметки выработанного продольного профиля понижаются, при уменьшении — повышаются. Однако даже в реках с большим стоком наносов не может формироваться выработанный продольный профиль для каждого проходящего по реке расхода воды. Оценки величин русловых переформирований во время реального паводка на Тереке показывают, что несмотря на очень быструю реакцию русла на изменение расходов воды величины русловых деформаций связаны только с осредненными за длительный период времени (не менее года) расходами воды.

Поэтому для расчета продольного профиля дна, выработанного всеми расходами воды из их годового (и многолетнего) диапазона, необходимо найти весовую функцию, учитывающую вклад каждого расхода воды в процесс формирования выработанного профиля.

Из уравнения русловых деформаций следует, что

$$\Delta z_0 = \frac{\Delta}{\Delta x} \left(\sum q_{rs} \Delta t \right) \quad (I-6)$$

или

$$\Delta z_0 = \frac{\Delta}{\Delta x} \left(\sum_{j=1}^M \frac{Q_j}{b_j} \rho_{ij} \Delta t_j \right) = \sum_{j=1}^M \frac{Q_j}{b_j} \Delta t_j \frac{\Delta \rho_{ij}}{\Delta x} \quad (I-7)$$

Здесь Δt_j — время воздействия в многолетнем разрезе расхода Q_j на русло реки.

Изменение мутности воды по длине русла Каргалинского прорыва $\Delta \rho_{ij} / \Delta x$ не зависит от расхода воды, следовательно в

качестве весовой функции для деформаций русла можно принять произведение $Q_j P_j / \bar{v}_j$. Это произведение напоминает функцию, предложенную Н.И.Маккавеевым для оценки величины руслоформирующего расхода воды и имеет тот же физический смысл.

Отметки эквивалентного выработанного продольного профиля дна, выработанного всем диапазоном расходов воды рассчитывается по формуле

$$z_{oi \rightarrow kb} = \left(\sum_{j=1}^M z_{oij} Q_j P_j / \bar{v}_j \right) / \left(\sum_{j=1}^M Q_j P_j / \bar{v}_j \right). \quad (I-8)$$

I.3. Формирование новой дельты Терека.

С августа 1977 г. (открытие прорези через Аграханский полуостров) в устьевой области Терека была искусственно прервана стадия формирования дельты выполнения залива и начала образовываться так называемая новая дельта выдвижения на открытое взморье. Ее эволюция разбивается на три периода: 1) с 3 января по 31 октября 1973 г. – поток вышел в море и образовалась пионерная баровая отмель; 2) с 1 ноября 1973 г. по 10 августа 1977 г. – баровая отмель в отсутствие речного стока при перекрытом канале под воздействием морского волнения трансформировалась в морской бар; 3) с 11 августа 1977 г. по настоящее время – после повторного вывода вод Терека в море по каналу продолжается выдвижение новой дельты.

Главными факторами развития новой дельты Терека являются сток воды и наносов реки и морское ветровое волнение, важ-

25

ное влияние оказывают колебания уровня Каспийского моря и развитие дельтовой растительности. Сток воды и наносов (с учетом их гранулометрического состава) в дельту в 1973, 1977-1978 гг. принято по данным в/п Аликазган, расположенного в 20,7 км от береговой линии моря. Так как открытие канала через Аграханский п-ов и сокращение длины Терека вызвали интенсивные размывы его русла, к стоку наносов у Аликазгана добавлены объемы размывов берегов и дна русла.

С 1979 г. и по настоящее время сток воды и наносов принят по в/п Дамба в 4,3 км от берега моря. Этот период характеризуется аккумуляцией наносов в канале из-за повышения уровня Каспийского моря и уменьшения уклонов водной поверхности в низовье реки. Объемы аккумуляции вычтены из стока наносов. Уровень моря взят по данным поста Махачкала. Характеристики ветрового волнения, средний поток ветровой энергии на единицу длины морского края дельты и величина вдольберегового потока волновой энергии для береговой линии Аграханского п-ова, правого и левого крыльев дельты рассчитывались по данным о среднемесячных скоростях и повторяемости ветров различных румбов по метеостанции Сулак.

Морфометрические характеристики новой дельты Терека получены путем обработки планшетов съемок и промеров дельты и устьевого взморья, проведенных Бакинским отделением Закавказского научно-исследовательского гидрометеорологического института, Терско-Сулакской устьевой станцией, Институтом водных проблем АН СССР (ИВП), Московским университетом, Севкавказгипроводхозом.

Первый период развития новой дельты Терека (3.01-31.10.1973 г.) продолжался 10 месяцев. Он характеризовался в целом повышенным стоком воды, значительным стоком наносов, особен-

но песчаных фракций, поступавших также вследствие размыва дна и берегов русла и канала, умеренным ветровым волнением (табл. I.2). В январе-мае 1973 г. в условиях пониженного стока воды выносимые на устьевое взморье наносы в основном уносились ветровым волнением, и скорость выдвигания устьевого бара была невелика. В июне-выгусте по реке прошли мощные паводки, начался этап интенсивного выдвигания устьевого бара.

В условиях взаимодействия речной струи с ветровым волнением создавался "бунный" эффект, в результате чего в формировании бара было вовлечено значительное количество наносов из вдольберегового потока. Береговая отмель, где аккумуляровались также мелкие наносы, начала зарастать тростником. Устьевой бар приобрел черты микродельты. В сентябре-октябре речной сток сильно сократился, в условиях усилившегося ветрового волнения началось распластывание микродельты вдоль берега, ее длина уменьшилась. К концу октября 1973 г. на устьевое взморье всего вынесено 10150 тыс.м³ речных наносов, из них 3150 тыс.м³ (31,0%) - фракций крупнее 0,05 мм.

Анализ грунтовой съемки дельты показал, что в ее сложении преобладают песчаные наносы, более мелкие составляют всего 12% веса. Алевриты и пелиты (6500 тыс.м³) в основном выносились в море, где образовали ареал смешанных речных и морских грунтов (площадью ~ 140 км²). Кроме того, в первые и последние месяцы этого периода в море унесено более 800 тыс.м³ песчаных наносов. Однако на этапе активного выдвигания дельты более 2000 тыс.м³ наносов, отложившихся в теле дельты, принесено вдольбереговыми потоками. К концу первого периода дельта (объемом 4480 тыс.м³) состояла на 51% из речных и на 49% из морских (и речных, переработанных волнением) наносов. Она представляла собой распластанный выступ площадью 1,3 км³ и длиной 800 м с более массивным северным крылом,

Таблица 1.2

Характеристики основных факторов развития новой дельты Терека и ее морфометрия

Дата	Уровень моря, м		Объем наносов вынесенных на взморье к менту съемки, тыс. м ³		Уровень моря, м		Объем наносов вынесенных на взморье к менту съемки, тыс. м ³		Суммарная вдольбереговая составляющая энергии ветрового волнения, млн Дж/м		Объем дельты, тыс. м ³		Площадь дельты, с баром, км ²		Длина дельты, с баром, км	
	г	д	г	д	г	д	г	д	г	д	г	д	г	д	г	д
1. 8.1973	-28,5	8600	2550	43,3	5,6	-5,6	5,6	4400	1,30	0,80	0,88					
10-20.10.1974	-28,6	10150	3150	204,6	33,1	-23,0	51,0	4000**	1,60	0,80	0,80					
24. 5.1975	-28,8	10150	3150	286,5	55,5	-29,9	83,7	3750**	1,45	0,70	0,70					
13. 9.1977	-28,9	10150	3150	629,9	93,5	-73,4	122,1	2850**	1,25	0,67	0,67					
30. 5.1978	-28,9	18700	6000	745,4	127,5	-65,4	208,2	6150	1,70	0,67	1,20					
26-28. 7.1978	-28,8	23200	6950	761,9	128,6	-67,3	211,1	9690**	2,25	0,67	1,40					
20-23. 8.1979	-28,4	29250	8200	936,5	157,3	-111,1	260,4	9750**	2,20	1,02	1,02					
15-20. 8.1980	-28,3	31450	8550	1097,2	193,6	-131,9	313,6	11000	2,60	1,06	1,38					
23. 8.1981	-28,0	33550	8750	1213,3	208,0	-147,0	341,5	12650	3,00	1,10	1,56					
30.7. 1982	-28,0	36900	9100	1344,0	230,8	-152,6	355,5	11600	2,70	1,10	1,37					
13-30. 9.1983	-28,0	41250	9550	1515,9	255,0	-171,6	372,4	13450	3,30	1,15	1,42					
12. 8.1984	-27,8	43800	9800	1682,8	264,1	-202,7	428,1	15600	3,50	1,22	1,75					
3. 9.1987	-27,7	47600*	11100*	2100,3	297,0	-252,8	516,6	15600	3,50	1,09	1,42					

* - сток наносов в низовьях в 1987 г. восстановлен по связи со стоком наносов в верхней части дельты Терека; ** - промер в море не выполнялся, положение изобат получено интерполяцией данных по времени съемок; *** - направление на север принято положительным, на юг - отрицательным.

поросшим тростником, и с меньшим (в 1,2–1,4 раза) южным крылом, с небольшой лагуной. Углубленная бороздина развернулась на юго-восток навстречу преобладающему волнению.

Второй период развития новой дельты Терека (I.II–1973 – 10.08.1977 г.) продолжался 46,5 месяцев при полном отсутствии выноса речных наносов, повышенной энергии ветрового волнения на фоне быстрого понижения уровня Каспийского моря (на 40 см за период по среднегодовым значениям). Морфология морского края обусловила формирование на правом крыле прибрежных вдольбереговых потоков наносов из продуктов разрушения дельты, направленных с севера на юг. Одновременно вдоль левого крыла дельты из продуктов ее разрушения формировались потоки наносов, направленные на север (табл I.2). Такое соотношение морфологии дельтового выступа и розы ветров предопределило размыв выступа дельты и аккумуляцию наносов вдоль ее крыльев, т.е. распластывание дельты вдоль берега. За 1974–1977 гг. длина дельты сократилась на 130 м, а ее протяженность вдоль берега увеличилась с 2,3 до 3,5 км. Одновременно происходил поперечный берегу волновой перенос наносов, который из-за несоответствия крутизны морского склона дельты устойчивому уклону берегового склона открытого побережья привел к выполаживанию уклонов дна. К середине 1975 г. крутизна морского склона уменьшилась с 0,01 до 0,004. При этом стал формироваться оконтуривающий дельту морской серповидный бар, в середине 1974 г. он вышел из-под уровня воды в своей центральной части, а к концу 1975 г. уже обрамлял всю дельту, отделив от моря мелководные лагуны. Выходу морского бара на поверхность способствовало понижение уровня моря. Образование бара в 1974 г. несколько увеличило площадь поверхности дельты, однако дальнейший размыв морского склона уменьшил ее пло-

щадь и объем. Всего за второй период эволюции дельты поперечные волновые течения унесли в море 1650 тыс.м³ песчаных наносов. Деятельность вдольбереговых потоков наносов привела к менее интенсивному размыву правого крыла, так как здесь аккумуляровалась часть наносов, перемешаемых вдоль берега Аграханского п-ова с юга на север. Изменение соотношения объемов левого и правого крыльев дельты (с 1,4 до 0,7) за этот период позволяет оценить объем этой аккумуляции в 615 тыс.м³, т.е. не более 20% среднего объема вдольберегового потока наносов. Основная часть наносов вдольберегового потока, видимо, транзитом обходила дельтовый выступ в области больших глубин.

В третьем, основном периоде выдвижения дельты Терека (с II.08.1977 и по настоящее время) выделяются два этапа: осень 1977 – осень 1978 г. – ускоренного выдвижения и современный этап замедленного выдвижения. Ускоренное выдвижение связано с повторным размывом дна и берегов русла в низовьях Терека и в канале после открытия прорези и с поступлением на взморье большого количества песчаных наносов. Цепь морских баров, образовавшихся в 1974–1977 г.г. была прорвана, и на отлогом взморье начал формироваться устьевой бар новой генерации. К маю 1978 г. его длина составила более 500 м. Летом 1978 г. на Тереке прошли мощные паводки, а из-за увеличения пропускной способности русла в результате предшествующего размыва впервые за историю развития русла Каргалинского прорыва в низовье реки наблюдались расходы воды более 800м³/с. Мощная речная струя образовала на устьевом взморье систему дельтовых осередков, многие из которых к концу 1978 г. поросли тростником и превратились в острова. К осени 1978 г. длина этой островной системы составила 700 м, а общая длина но-

вой дельты Терека - 1400 м. Взаимодействие речной струи с волнением и "бунный" эффект привели к аккумуляции здесь большого количества наносов из вдольберегового потока. Всего за этап ускоренного выдвигания дельты к сентябрю 1978 г. на взморье было вынесено 13 000 тыс.м³ наносов, из них 3850 тыс. (30%) крупнее 0,05 мм. Объем новой дельты Терека увеличился на 6860 тыс.м³. Таким образом, не менее 2500 тыс.м³ (около 40% объема дельты) составили морские наносы.

Замедление выдвигания новой дельты Терека в 1979-1987 гг. связано, с одной стороны, с резким уменьшением количества поступающих в дельту наносов вследствие: 1) малой естественной водности 1979, 1983 и 1985 гг.; 2) отбор в 1980-1987 гг. 30-40% стока воды и наносов в Кубякинский канал, созданный для поддержания обводнения бывшей северной части Аграханского залива; 3) повышения уровня Каспийского моря, сопутствующего этому уменьшению уклонов в низовьях Терека и аккумуляции здесь на отрезке русла длиной 44 км за 1979-1987 гг. 4900 тыс.м³ в основном песчаных наносов (из них ниже в/п Дамба - 1570 тыс.м³). С другой стороны, повышение уровня Каспийского моря позлекло за собой относительное увеличение энергии ветрового волнения, способствующего разрушению конуса выноса.

В 1979 г. вдоль морского края дельты (сформировавшейся к концу 1978 г.) несколько срезав его в центральной части, образовалась вторая цепь морских баров, на большем своем протяжении затопленных морем, среднегодовой уровень которого скачкообразно повысился в 1978-1979 гг. на 50 см. В 1980 г. эти бары вышли на поверхность, а в 1982-1984 гг. их северные и южные концы примкнули к коренным берегам Аграханского п-ова. Морскими барами были отчленены от моря лагуны второй генера-

ции общей площадью более 1,5 км². Уже в 1979–1980 гг. левая лагуна была отделена от русловой бороздины прирусловой гривой, заросшей тростником. В 1979 г. в правую лагуну поступала большая часть стока наносов Терека, а в 1980 г. – 20% стока (причем только мелких), к 1983 г. и правая лагуна была полностью отрезана от русла прирусловой гривой, заросшей тростником. В незаиляющихся лагунах по мере повышения уровня моря глубина увеличивалась, и они стали важной основой для формирующейся экосистемы новой дельты Терека.

В центральной части дельтового выступа обе цепи морских баров разделены русловой бороздиной новой дельты Терека, ориентированной в целом перпендикулярно преобладающему направлению волновых фронтов. В бороздине сформировалась серия осередков, между которыми блуждает стрежень потока, изменяя свое положение после каждого паводка. В устье бороздины во время летних паводков формируется устьевой бар, который к началу паводочного сезона следующего года разрушается в основном зимними штормами. Еще в 1980 г. устьевой бар состоял на 85–90% из песчаных наносов, но уже в 1983 г. в связи с уменьшением их поступления в дельту большая часть наносов, составляющих бар (66% по весу), представляла собой алевриты и пелиты, а в 1987 г. эти фракции составляли практически весь объем устьевого бара.

При размыве устьевого бара основная часть песчаных наносов транспортируется вдоль левой части морского бара новой дельты Терека. Это приводит к его повышенной динамичности (прирусловая часть бара то выдвигается в море, то смещается к берегу), а среднем – к стабильному положению морского края дельты. Прирусловой участок правой части бара, где ощущается дефицит наносов, интенсивно отступал к берегу со скоростью

100 м/год, в 1983–1987 гг. это смещение резко замедлилось до 10 м/год, так как размыв достиг слежавшихся илистых отложений дна лагуны, густо поросшего тростником. В то же время прибрежный участок правой части морского бара выдвигается в море со скоростью 20 м/год вследствие аккумуляции здесь наносов, перемещающихся как вдоль бара с севера на юг, так и вдоль берега Атраханского п-ова с юга на север. Отметки дна морского склона дельты увеличились здесь на 0,8–1 м.

В целом длина новой дельты Терека за этап замедленного выдвигания не увеличилась, но стали больше на 1,2 км ее площадь (вследствие расширения дельты вдоль берега) и объем (на 5900 тыс.м³). На взморье за этот этап было вынесено 24600 тыс.м³ речных наносов, из них 4100 тыс.м³ крупнее 0,05 мм (16,7%) (табл.1.2). Однако в дельте отложилось не более 2000 тыс.м³ песчаных наносов, в основном в области аккумуляции на правом крыле. В условиях повышения уровня Каспийского моря резко возросла роль аккумуляции алевритовых и пелитовых наносов: более 1000 тыс.м³ мелких наносов отложилось на поверхности дельты слоем мощностью 1,0–1,5 м, не менее 2000 тыс. м³ мелких наносов аккумуляровалось на морском склоне дельты. В общей сложности за этап замедленного выдвигания дельты мелкие наносы составили более половины объема аккумуляции. Более 1000 тыс.м³ морских наносов поступило на нижнюю часть морского склона дельты вследствие перестройки профиля берегового склона при повышении уровня Каспийского моря.

К началу 1988 г. новая дельта Терека имеет следующие параметры: длина 1,09 км, длина с устьевым баром 1,4–1,75 км, площадь 3,50 км², объем 15600 тыс.м³, и в ней выделяются формы всех периодов развития.

В период 1988–1990 гг., на фоне некоторой стабилизации

уровня Каспийского моря и увеличения объема стока наносов по Терезу в связи с отмиранием Кубякинского канала устьевой бар выходит на поверхность и начинает зарастать тростником. Морские бари (особенно правого крыла дельты) продолжают отступать к берегу. Дальнейшее поведение новой дельты Терека во многом обусловлено изменениями уровня Каспийского моря. Если уровень моря будет повышаться, скорость выдвигания дельты не будет значительной. Продолжится аккумуляция наносов на ее поверхности. Однако в условиях понижения уровня Каспийского моря следует ожидать существенной активизации выдвигания новой дельты Терека на открытое взморье.

Общее уравнение баланса наносов в новой дельте Терека можно записать в следующем виде:

$$W_g = W_{pв} - W_{pн} + W_{мвз} - W_{мв} \quad (I-9)$$

где W_g - объем дельты, $W_{pв}$ - объем наносов, поступающих в вершину новой дельты из реки, $W_{pн}$ - объем речных наносов, уносимых через устьевой створ новой дельты в море; $W_{мвз}$ - объем наносов, поставляемых в дельту вдольбереговыми потоками наносов; $W_{мв}$ - объем наносов, уносимых с морского края дельты востровым волнением.

Разность $W_{pв} - W_{pн}$ представляет собой объем речных дельтообразующих наносов. Так же как и руслоформирующие наносы, это в основном песчано-крупноалевритовая фракция взвешенных и влекомых наносов Терека, ее объем принимается пропорционально общему объему стока наносов в вершине новой дельты

$$W_{pв} - W_{pн} = K_T W_{pв}.$$

Коэффициент K_T , равный 0,34 для основных водотоков дельты Терека, в новой дельте Терека меньше, т.к. в условиях малых

уклонов крупные наносы оседают в русле. Аномальные значения K_T характерны для 1973 и 1978 гг., когда в низовьях реки происходил активный размыв дна и в движение дополнительно вовлекалось большое количество крупных наносов.

Объем уносимых ветровым волнением наносов пропорционален энергии ветрового волнения и зависит от морфологии морского края дельты. По В.Ф.Полонскому, удельный расход наносов, уносимых волнением - q_m пропорционален удельному потоку энергии волнения N_0 и характеристике, отражающей степень искажения первичного квазиравновесного рельефа взморья вследствие выноса речных наносов $U = J_k / J_{взм}$, где J_k - уклон дна на лосовом склоне конуса выноса; $J_{взм}$ - исходный уклон дна взморья. Для определенного периода времени N_0 рассчитывается как суперпозиция потоков энергии волнения N_{0i} для каждого волноопасного румба с учетом его повторяемости P_i (в %).

$$N_0 = \frac{\sum N_{0i} P_i}{100}$$

причем N_{0i} определяется параметрами волнения

$$N_{0i} = g h_{gi}^2 c_i / 16$$

Высота волны h_g и ее фазовая скорость c для каждого i -го румба рассчитывается по фактическим характеристикам ветра и глубин.

Расчеты и анализ баланса наносов в новой дельте Терека на всех этапах ее формирования показывают, что большинстве случаев наносы вдольберегового потока транзитом (в среднем за длительный период времени) проходят новую дельту Терека. Накопление в дельте наносов из вдольберегового потока происходит только в условиях интенсивного выдвигания дельты; ког-

да ее морской край еще не стабилизирован окаймляющими морскими барами. На обширной акватории происходит взаимодействие речной струи с ветровым волнением, значительная рефракция волн и разгрузка от наносов. Такими были условия зимы-лета 1973 г., в новой дельте Терека отложилось около 1 млн.м³ наносов из вдольберегового потока, а также условия лета 1978 г., когда из вдольберегового потока в дельту поступило ~ 3 млн.м³ наносов.

В пределах новой дельты Терека вдольбереговые потоки наносов возникают и при фронтальном подходе волн. Из-за треугольной формы дельты такое волнение разрушает наиболее выдвинутый устьевой бар дельты и наращивает её крылья. Общий объем дельты при этом не меняется.

Исходя из аномальности условий приноса в дельту наносов вдольберегового потока и учитывая, что наибольшей активностью отличаются процессы размыва-аккумуляции в области наиболее мористого выступа дельты - ее устьевого бара, вслед за В.Ф.Полонским приведем уравнение (I.9) к виду

$$\frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{K_1 q_s \left(T - \frac{K_2}{K_1}\right)}{\sigma_s T H_\delta} \quad (I-10)$$

Здесь q_s - удельный на единицу ширины устьевого бара объемный расход наносов (транзитных и дельтоформирующих), м²/с; $T = q_s / N_0 y$ - критерий относительного влияния моря, м³/дж; Δl - величина выдвигения дельты в м за время Δt , H_δ - высота дельты на линии уреза устьевого бара над первоначальным дном взморья; σ_s - коэффициент формы морского края дельты.

Коэффициенты K_1 и K_2 в формуле (I-10) были рассчитаны на основе данных о морфологии и условиях формирования новой дельты Терека за период 1974-77, 1979-84 гг. Дан-

ные наблюдений за 1973 и 1978 гг., как и ожидалось, оказались аномальными.

Коэффициент $K_1 = 0,133$, т.е. в среднем за 1979-84 гг. 13,3% общего стока наносов Терека в низовьях аккумулировалось в новой дельте. Коэффициент $K_2 = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{дж}$, т.е. на каждую единицу потока энергии ветрового волнения с единицы длины устьевого бара вовлекается во вдольбереговой поток $2,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}$ наносов. По данным наблюдений за размывом новой дельты на втором этапе ее формирования 1974-77 гг. установлена величина $q_{\text{м}} = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{дж}$, т.е. единица потока волной ^{во} энергии вызывает вынос в море $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}$ с единицы длины морского края или примерно половину количества наносов, вовлекаемых во вдольбереговой перенос.

Формулу (I-10) для практических расчетов удобно привести к виду

$$\Delta l = 1700 \frac{R}{\beta H_g} \frac{T^* - 0,00032}{T^*} \quad (\text{I-II})$$

Здесь $\Delta l, \text{ м}$ - величина удлинения дельты за год; R - расход наносов в $\text{кг}/\text{с}$, β - ширина активной зоны устьевого бара, м ; H_g - высота дельты; $T^* = R/\beta N_0 \text{ ч}$ $\text{ кг}/\text{дж}$; коэффициент 1700 имеет размерность $\text{ м}^3 \cdot \text{ с}/\text{ кг} \cdot \text{ год}$.

При расчетах можно использовать эмпирические связи

$H_g = (0,105 \sqrt{L_g})^{(A+28,5)}$, где A - уровень Каспийского моря м , абс.

$N_0 = a V_{\theta}^b$; $a = 24,62 H_g^{0,3319}$, $b = 1,13 H_g^{0,109}$
при среднемесечной скорости ветра $4,0 < V_{\theta} < 6,5 \text{ м}/\text{ с}$.

1.4. Ожидаемые переформирования продольного профиля русла на устьевом участке р. Терек.

Поскольку расчет выработанного продольного профиля дна на устьевом участке реки невозможен без оценки предельного выдвигания новой дельты Терека в море, то остановимся на прогнозе устьевого удлинения русла, разработанном на основе предпосылок, рассмотренных в разд. 1.3.

Исходя из планируемого водопотребления в низовьях Терека после сооружения регулирующих сток водохранилищ, параметра, входящие в формулу (I-II) в период после 1995-2000 гг., будут иметь следующие значения: $Q = 116$, кг/с; $B = 300$ м; $U = 2,8$. В таком случае выдвигание дельты Терека в море прекратится при потоке энергии морского волнения $N_c = 432$ дж/м.с, что при средней скорости ветра волноопасных румбов 5,3 м/с (условия периода 1968-83 гг.) реализуется на глубине 4,4-4,6 м. При уровне Каспийского моря -27,0 - -29,0 м абс. это соответствует длине дельты 1000-1700 м..

В таком диапазоне изменения длины дельты подпор от нее будет составлять 0,04-0,1 м, что существенно меньше, чем возможный диапазон изменения уровня Каспийского моря. Таким образом наиболее результативным будет расчет положения выработанного продольного профиля устьевого участка русла Терека при современной его длине для различных вариантов уровня Каспийского моря.

Для решения уравнений, описывающих выработанный продольный профиль дна, разработан алгоритм, реализованный в ВЦ МГУ на ЭВМ БЭС-6 и ПК. Он предусматривает расчет глубин и скоростей в устойчивом створе реки от определения мутности, соответствующей транспортирующей способности потока, расчет

38

отметок дна выработанного продольного профиля и отметок водной поверхности с операциями подбора ее уклонов, направленными на достижение равенства между рассчитанной и фактической отметками поверхности воды в начальном и конечном створах при заданных значениях Q_j , а затем отметок эквивалентного продольного профиля устьевого участка реки для заданной кривой повторяемости расходов воды в реке.

Результаты расчетов приведены в табл. I.3. При расчетах принята морфология русла Терека на участке Каргалинский г/у - море на период 1978-1987 гг. Ширина русла при уровнях затопления поймы экстраполировалась вверх по зависимости $B = f(Q)$ для русловой части потока, такая экстраполяция предполагает заилнение пойменной емкости в межваловом пространстве. Расходы наносов во входном створе рассчитаны с помощью формул Россинского - Кузьмина и Гришанина по морфологии устойчивого поперечного сечения русла Терека выше Каргалинского гидроузла. Уровень Каспийского моря, в связи с отсутствием достоверного прогноза его положения, принимался в разных вариантах - от -31 до -25,5 м Б.С. Диапазон изменения расходов воды составил 75-1475 м³/с, кривая повторяемости расходов воды принята для периода 1939-1984 гг по гидрометрическому посту Степное. После вычисления выработанного эквивалентного продольного профиля дна предполагалась его стабильность, и для этих условий рассчитывалась кривая свободной поверхности для расхода 1000 м³/с для всех вариантов положения отметки в устье реки.

Низовья р. Терека представляют собой уникальный пример быстрого формирования выработанного продольного профиля русла, несмотря на существенные изменения как внутренних связей в системе поток-русло, так и внешних факторов руслового процесса. Главная причина этого явления - большой сток наносов в реке, в результате чего русловые переформирования происходят с большой скоростью, и русло быстро приспосабливается к новым гидравлическим условиям.

Таблица I.3

X km	ZM=-31.0		ZM=-30.5		ZM=-30.0		ZM=-29.5	
	DZ m	ZO m	DZ m	ZO m	DZ m	ZO m	DZ m	ZO m
.0	-2.8	2.1	-2.8	2.1	-2.8	2.1	-2.8	2.1
1.0	-3.0	1.8	-3.0	1.9	-3.0	1.9	-3.0	1.9
2.0	-4.2	1.3	-4.2	1.3	-4.1	1.3	-4.1	1.3
3.0	-6.4	1.0	-6.4	1.0	-6.4	1.1	-6.4	1.1
4.0	-7.0	.7	-7.0	.8	-7.0	.8	-6.9	.8
5.0	-7.5	.5	-7.5	.6	-7.5	.6	-7.5	.6
6.0	-6.6	.3	-6.6	.4	-6.6	.4	-6.6	.4
7.0	-6.6	.2	-6.6	.2	-6.6	.2	-6.6	.3
8.0	-5.5	-.1	-5.4	.0	-5.4	.0	-5.4	.0
9.0	-5.9	-.3	-5.8	-.3	-5.8	-.2	-5.8	-.2
10.0	-6.2	-.5	-6.2	-.5	-6.1	-.4	-6.1	-.4
11.0	-5.7	-.7	-5.6	-.6	-5.6	-.6	-5.6	-.5
12.0	-5.5	-.9	-5.4	-.8	-5.4	-.8	-5.3	-.7
13.0	-6.1	-1.3	-6.1	-1.2	-6.0	-1.1	-6.0	-1.1
14.0	-7.3	-1.5	-7.2	-1.4	-7.2	-1.3	-7.1	-1.3
15.0	-7.4	-1.7	-7.4	-1.6	-7.3	-1.5	-7.3	-1.5
16.0	-7.4	-1.9	-7.4	-1.8	-7.3	-1.7	-7.3	-1.7
17.0	-7.6	-2.1	-7.5	-2.0	-7.5	-1.9	-7.4	-1.8
18.0	-7.9	-2.3	-7.8	-2.2	-7.7	-2.1	-7.7	-2.0
19.0	-8.1	-2.4	-8.0	-2.4	-7.9	-2.3	-7.9	-2.2
20.0	-8.0	-2.9	-7.9	-2.8	-7.8	-2.8	-7.8	-2.7
21.0	-9.9	-3.1	-9.9	-3.1	-9.8	-3.0	-9.7	-2.9
22.0	-8.4	-3.3	-8.3	-3.2	-8.2	-3.2	-8.1	-3.1
23.0	-8.6	-3.7	-8.5	-3.6	-8.4	-3.5	-8.3	-3.4
24.0	-9.7	-4.0	-9.6	-3.9	-9.5	-3.8	-9.4	-3.8
25.0	-10.0	-4.3	-9.9	-4.2	-9.8	-4.1	-9.7	-4.0
26.0	-10.0	-4.6	-9.9	-4.5	-9.8	-4.4	-9.7	-4.3
27.0	-10.0	-4.8	-9.9	-4.7	-9.8	-4.6	-9.7	-4.5
28.0	-9.6	-5.0	-9.5	-4.9	-9.4	-4.8	-9.3	-4.7
29.0	-9.8	-5.3	-9.7	-5.1	-9.6	-5.0	-9.5	-4.9
30.0	-10.2	-5.6	-10.1	-5.4	-10.0	-5.3	-9.8	-5.2
31.0	-10.3	-5.8	-10.7	-5.7	-10.6	-5.6	-10.5	-5.5
32.0	-10.8	-6.0	-10.7	-5.9	-10.5	-5.8	-10.4	-5.7
33.0	-10.7	-6.2	-10.6	-6.0	-10.5	-5.9	-10.4	-5.8
34.0	-10.8	-6.4	-10.7	-6.2	-10.6	-6.1	-10.4	-6.0
35.0	-11.1	-6.6	-11.0	-6.5	-10.8	-6.3	-10.7	-6.3
36.0	-12.3	-7.0	-12.1	-6.8	-12.0	-6.7	-11.8	-6.6
37.0	-13.2	-7.4	-13.0	-7.2	-12.9	-7.1	-12.7	-7.0
38.0	-14.6	-7.5	-14.4	-7.3	-14.3	-7.2	-14.1	-7.2
39.0	-12.6	-7.7	-12.4	-7.6	-12.3	-7.4	-12.1	-7.2
40.0	-13.1	-7.9	-12.9	-7.8	-12.7	-7.6	-12.6	-7.4
41.0	-12.1	-8.1	-12.0	-7.9	-11.8	-7.7	-11.6	-7.6
42.0	-12.8	-8.3	-12.6	-8.1	-12.4	-8.0	-12.2	-7.8
43.0	-13.2	-8.7	-13.0	-8.6	-12.8	-8.4	-12.7	-8.2
44.0	-15.1	-9.1	-14.9	-8.9	-14.7	-8.8	-14.5	-8.6
45.0	-14.5	-9.3	-14.3	-9.2	-14.1	-9.0	-13.9	-8.8
46.0	-14.8	-9.6	-14.6	-9.5	-14.4	-9.3	-14.2	-9.1
47.0	-15.3	-10.1	-15.1	-9.9	-14.9	-9.7	-14.7	-9.5
48.0	-16.3	-10.4	-16.1	-10.2	-15.9	-10.0	-15.6	-9.8
49.0	-15.7	-10.6	-15.5	-10.4	-15.3	-10.2	-15.1	-10.0
50.0	-15.4	-10.8	-15.2	-10.6	-15.0	-10.4	-14.8	-10.2
51.0	-16.1	-11.3	-15.9	-11.0	-15.7	-10.9	-15.5	-10.6
52.0	-17.3	-11.8	-17.1	-11.5	-16.8	-11.3	-16.6	-11.1
53.0	-17.8	-12.1	-17.6	-11.9	-17.4	-11.7	-17.1	-11.4
54.0	-17.4	-12.4	-17.2	-12.1	-17.0	-12.0	-16.7	-11.7
55.0	-17.4	-12.7	-17.2	-12.4	-16.9	-12.2	-16.7	-12.0
56.0	-17.4	-13.0	-17.1	-12.7	-16.9	-12.6	-16.6	-12.3

57.0	-18.0	-13.7	-17.8	-13.3	-17.6	-13.2	-17.3	-12.9
58.0	-19.1	-14.2	-18.9	-13.8	-18.6	-13.7	-18.4	-13.4
59.0	-18.7	-14.5	-18.4	-14.3	-18.2	-14.0	-17.9	-13.8
60.0	-18.7	-14.9	-18.5	-14.6	-18.2	-14.3	-17.9	-14.1
61.0	-19.1	-15.2	-18.9	-14.9	-18.6	-14.7	-18.3	-14.4
62.0	-19.5	-15.7	-19.3	-15.4	-19.0	-15.1	-18.7	-14.8
63.0	-20.3	-16.1	-20.0	-15.8	-19.8	-15.5	-19.5	-15.2
64.0	-20.1	-16.3	-19.8	-16.0	-19.5	-15.7	-19.3	-15.4
65.0	-19.8	-16.5	-19.5	-16.2	-19.2	-15.9	-19.0	-15.6
66.0	-20.0	-16.9	-19.7	-16.6	-19.4	-16.3	-19.1	-16.0
67.0	-21.1	-17.1	-20.8	-16.8	-20.5	-16.5	-20.2	-16.2
68.0	-20.6	-17.5	-20.3	-17.2	-20.0	-16.9	-19.7	-16.6
69.0	-22.3	-17.9	-22.0	-17.6	-21.7	-17.2	-21.4	-16.9
70.0	-21.7	-18.1	-21.4	-17.7	-21.1	-17.4	-20.8	-17.0
71.0	-22.1	-18.2	-21.7	-17.9	-21.4	-17.6	-21.1	-17.2
72.0	-22.2	-18.5	-21.9	-18.2	-21.5	-17.8	-21.2	-17.4
73.0	-23.3	-18.7	-23.0	-18.3	-22.7	-18.0	-22.3	-17.6
74.0	-23.0	-18.8	-22.7	-18.4	-22.3	-18.1	-22.0	-17.7
75.0	-23.5	-18.9	-23.1	-18.6	-22.3	-18.2	-22.4	-17.8
76.0	-24.1	-19.4	-23.8	-19.0	-23.4	-18.7	-23.1	-18.2
77.0	-27.3	-19.6	-27.0	-19.2	-26.6	-18.9	-26.3	-18.4
78.0	-25.5	-19.6	-25.2	-19.3	-24.8	-19.0	-24.5	-18.5
79.0	-25.3	-19.8	-24.9	-19.5	-24.6	-19.1	-24.2	-18.7
80.0	-26.3	-20.1	-25.9	-19.7	-25.6	-19.4	-25.2	-19.0
81.0	-25.6	-20.2	-25.2	-19.8	-24.8	-19.5	-24.5	-19.1
82.0	-25.1	-20.4	-24.7	-20.1	-24.3	-19.7	-24.0	-19.3
83.0	-26.7	-20.9	-26.4	-20.5	-26.0	-20.1	-25.6	-19.8
84.0	-27.5	-21.5	-27.1	-21.1	-26.7	-20.7	-26.3	-20.4
85.0	-29.1	-22.0	-28.7	-21.6	-28.3	-21.2	-27.9	-20.8
86.0	-28.0	-22.2	-27.6	-21.8	-27.2	-21.4	-26.8	-21.0
87.0	-27.3	-22.4	-26.9	-22.0	-26.5	-21.6	-26.1	-21.2
88.0	-27.7	-22.9	-27.3	-22.5	-26.9	-22.1	-26.5	-21.7
89.0	-29.2	-23.4	-28.8	-23.0	-28.3	-22.6	-27.9	-22.2
90.0	-28.9	-23.8	-28.5	-23.4	-28.0	-22.9	-27.6	-22.5
91.0	-29.0	-24.1	-28.6	-23.6	-28.2	-23.2	-27.8	-22.8
92.0	-29.7	-24.4	-28.3	-24.0	-27.8	-23.6	-27.4	-23.1
93.0	-29.4	-24.9	-29.0	-24.5	-28.6	-24.0	-28.1	-23.6
94.0	-29.9	-25.3	-29.4	-24.9	-29.0	-24.4	-28.5	-24.0
95.0	-29.9	-25.7	-29.4	-25.2	-29.0	-24.8	-29.5	-24.3
96.0	-30.2	-26.0	-29.7	-25.5	-29.3	-25.1	-28.8	-24.7
97.0	-30.3	-26.4	-29.8	-26.0	-29.4	-25.5	-28.9	-25.1
98.0	-31.1	-26.9	-30.6	-26.5	-30.2	-26.0	-29.7	-25.6
99.0	-31.3	-27.4	-30.9	-26.9	-30.4	-26.4	-29.9	-26.0
100.0	-31.6	-27.8	-31.1	-27.4	-30.6	-26.9	-30.1	-26.4
101.0	-31.9	-28.4	-31.4	-27.9	-31.0	-27.4	-30.5	-26.9
102.0	-32.2	-28.9	-31.8	-28.4	-31.3	-27.9	-30.8	-27.5
103.0	-32.6	-29.6	-32.1	-29.1	-31.6	-28.6	-31.1	-28.1
104.0	-32.9	-30.6	-32.4	-30.0	-31.9	-29.4	-31.4	-29.0

	ZM=-29.0	ZM=-28.5	ZM=-28.0	ZM=-27.5
X km	DZ m	ZO m	DZ m	ZO m
.0	-2.8	2.1	-2.8	2.1
1.0	-3.0	1.9	-3.0	1.9
2.0	-4.1	1.4	-4.1	1.4
3.0	-6.4	1.1	-6.3	1.1
4.0	-6.9	.8	-6.9	.9
5.0	-7.5	.7	-7.4	.7
6.0	-6.5	.4	-6.5	.5
7.0	-6.5	.3	-6.5	.3
8.0	-5.4	.1	-5.3	.1

9.0	-5.7	-.2	-5.7	-.1	-5.7	-.1	-5.6	-.1
10.0	-6.1	-.3	-6.0	-.3	-6.0	-.2	-6.0	-.3
11.0	-5.5	-.5	-5.5	-.4	-5.4	-.4	-5.4	-.4
12.0	-5.3	-.7	-5.2	-.6	-5.2	-.6	-5.2	-.6
13.0	-5.9	-1.0	-5.9	-1.0	-5.8	-.9	-5.8	-.9
14.0	-7.1	-1.2	-7.0	-1.2	-7.0	-1.1	-6.9	-1.2
15.0	-7.2	-1.4	-7.1	-1.4	-7.1	-1.3	-7.0	-1.3
16.0	-7.2	-1.6	-7.1	-1.5	-7.1	-1.5	-7.0	-1.5
17.0	-7.4	-1.8	-7.3	-1.7	-7.2	-1.6	-7.2	-1.7
18.0	-7.6	-1.9	-7.5	-1.9	-7.5	-1.8	-7.4	-1.9
19.0	-7.8	-2.2	-7.7	-2.1	-7.7	-2.0	-7.6	-1.9
20.0	-7.7	-2.6	-7.6	-2.5	-7.5	-2.5	-7.5	-2.4
21.0	-9.6	-2.8	-9.5	-2.7	-9.5	-2.6	-9.4	-2.6
22.0	-8.0	-3.0	-7.9	-2.9	-7.9	-2.8	-7.8	-2.7
23.0	-8.2	-3.4	-8.1	-3.3	-8.0	-3.2	-8.0	-3.1
24.0	-9.4	-3.7	-9.3	-3.6	-9.2	-3.6	-9.1	-3.4
25.0	-9.6	-3.9	-9.5	-3.8	-9.4	-3.7	-9.3	-3.6
26.0	-9.6	-4.2	-9.5	-4.1	-9.4	-3.9	-9.3	-3.8
27.0	-9.6	-4.4	-9.4	-4.3	-9.3	-4.1	-9.2	-4.0
28.0	-9.2	-4.6	-9.1	-4.5	-9.0	-4.3	-8.9	-4.2
29.0	-9.3	-4.8	-9.2	-4.7	-9.1	-4.5	-9.0	-4.5
30.0	-9.7	-5.1	-9.6	-5.0	-9.5	-4.8	-9.4	-4.7
31.0	-10.4	-5.3	-10.2	-5.2	-10.1	-5.0	-10.0	-5.0
32.0	-10.3	-5.5	-10.2	-5.4	-10.0	-5.2	-9.9	-5.1
33.0	-10.2	-5.7	-10.1	-5.5	-10.0	-5.4	-9.8	-5.3
34.0	-10.3	-5.8	-10.1	-5.7	-10.0	-5.5	-9.9	-5.4
35.0	-10.6	-6.1	-10.4	-6.0	-10.3	-5.8	-10.1	-5.7
36.0	-11.7	-6.4	-11.6	-6.3	-11.4	-6.1	-11.3	-6.0
37.0	-12.6	-6.8	-12.4	-6.7	-12.3	-6.4	-12.1	-6.4
38.0	-14.0	-6.9	-13.8	-6.8	-13.7	-6.6	-13.5	-6.5
39.0	-12.0	-7.1	-11.8	-6.9	-11.6	-6.8	-11.5	-6.6
40.0	-12.4	-7.3	-12.2	-7.1	-12.1	-6.9	-11.9	-6.8
41.0	-11.5	-7.4	-11.3	-7.3	-11.1	-7.1	-10.9	-6.9
42.0	-12.1	-7.6	-11.9	-7.5	-11.7	-7.3	-11.5	-7.1
43.0	-12.5	-8.0	-12.3	-7.9	-12.1	-7.7	-11.9	-7.5
44.0	-14.4	-8.4	-14.2	-8.2	-14.0	-8.0	-13.8	-7.9
45.0	-13.7	-8.6	-13.6	-8.4	-13.4	-8.3	-13.2	-8.1
46.0	-14.0	-8.9	-13.8	-8.7	-13.6	-8.5	-13.4	-8.3
47.0	-14.5	-9.3	-14.3	-9.1	-14.1	-8.9	-13.9	-8.7
48.0	-15.4	-9.6	-15.2	-9.4	-15.0	-9.2	-14.8	-9.0
49.0	-14.9	-9.8	-14.7	-9.6	-14.5	-9.4	-14.3	-9.2
50.0	-14.6	-10.0	-14.3	-9.8	-14.1	-9.6	-13.9	-9.4
51.0	-15.3	-10.4	-15.0	-10.2	-14.8	-10.0	-14.6	-9.8
52.0	-16.4	-10.9	-16.2	-10.7	-15.9	-10.5	-15.7	-10.3
53.0	-16.9	-11.2	-16.7	-11.0	-16.5	-10.8	-16.2	-10.6
54.0	-16.5	-11.5	-16.3	-11.2	-16.0	-11.1	-15.8	-10.8
55.0	-16.5	-11.7	-16.2	-11.5	-16.0	-11.3	-15.8	-11.1
56.0	-16.4	-12.1	-16.2	-11.8	-15.9	-11.6	-15.7	-11.4
57.0	-17.1	-12.7	-16.8	-12.4	-16.6	-12.2	-16.3	-12.0
58.0	-18.1	-13.1	-17.9	-12.8	-17.6	-12.7	-17.4	-12.4
59.0	-17.6	-13.5	-17.4	-13.3	-17.1	-13.0	-16.9	-12.8
60.0	-17.7	-13.8	-17.4	-13.5	-17.2	-13.3	-16.9	-13.0
61.0	-18.1	-14.1	-17.8	-13.9	-17.5	-13.6	-17.3	-13.3
62.0	-19.4	-14.6	-18.2	-14.3	-17.9	-14.0	-17.6	-13.7
63.0	-19.2	-14.9	-18.9	-14.6	-18.7	-14.4	-18.4	-14.1
64.0	-19.0	-15.1	-18.7	-14.8	-18.4	-14.5	-18.1	-14.3
65.0	-18.7	-15.3	-18.4	-15.0	-18.1	-14.7	-17.8	-14.4
66.0	-18.8	-15.7	-18.5	-15.4	-18.2	-15.1	-17.9	-14.8
67.0	-19.9	-15.9	-19.6	-15.6	-19.3	-15.3	-19.0	-15.0

68.0	-19.4	-16.2	-19.1	-15.9	-18.8	-15.6	-18.5	-15.3
69.0	-21.0	-16.6	-20.7	-16.2	-20.4	-15.9	-20.1	-15.6
70.0	-20.4	-16.7	-20.1	-16.4	-19.8	-16.1	-19.5	-15.8
71.0	-20.8	-16.9	-20.4	-16.6	-20.1	-16.2	-19.8	-15.9
72.0	-20.9	-17.1	-20.6	-16.8	-20.2	-16.5	-19.9	-16.2
73.0	-22.0	-17.3	-21.7	-16.9	-21.3	-16.6	-21.0	-16.3
74.0	-21.6	-17.4	-21.3	-17.0	-21.0	-16.7	-20.6	-16.4
75.0	-22.1	-17.5	-21.7	-17.2	-21.4	-16.8	-21.0	-16.5
76.0	-22.7	-17.9	-22.4	-17.6	-22.0	-17.2	-21.7	-16.9
77.0	-25.9	-18.1	-25.6	-17.7	-25.2	-17.4	-24.8	-17.1
78.0	-24.1	-18.2	-23.7	-17.8	-23.4	-17.5	-23.0	-17.2
79.0	-23.3	-18.4	-23.5	-18.0	-23.1	-17.6	-22.7	-17.3
80.0	-24.8	-18.6	-24.5	-18.3	-24.1	-17.9	-23.7	-17.5
81.0	-24.1	-18.7	-23.7	-18.4	-23.3	-18.0	-23.0	-17.6
82.0	-23.6	-18.9	-23.2	-18.6	-22.8	-18.2	-22.4	-17.8
83.0	-25.2	-19.4	-24.8	-19.0	-24.4	-18.6	-24.1	-18.3
84.0	-25.9	-20.0	-25.6	-19.6	-25.2	-19.2	-24.8	-18.8
85.0	-27.5	-20.4	-27.1	-20.0	-26.7	-19.6	-26.3	-19.2
86.0	-26.4	-20.6	-26.0	-20.2	-25.6	-19.8	-25.3	-19.4
87.0	-25.7	-20.8	-25.3	-20.4	-24.9	-20.0	-24.5	-19.6
88.0	-26.1	-21.3	-25.7	-20.9	-25.3	-20.5	-24.8	-20.1
89.0	-27.5	-21.8	-27.1	-21.4	-26.7	-21.0	-26.3	-20.5
90.0	-27.2	-22.1	-26.8	-21.7	-26.4	-21.3	-26.0	-20.9
91.0	-27.3	-22.4	-26.9	-22.0	-26.5	-21.6	-26.1	-21.1
92.0	-27.0	-22.7	-26.5	-22.3	-26.1	-21.9	-25.7	-21.4
93.0	-27.7	-23.2	-27.3	-22.8	-26.8	-22.3	-26.4	-21.9
94.0	-28.1	-23.6	-27.7	-23.1	-27.2	-22.7	-26.8	-22.2
95.0	-28.1	-23.9	-27.7	-23.5	-27.2	-23.0	-26.8	-22.6
96.0	-28.4	-24.2	-27.9	-23.8	-27.5	-23.3	-27.0	-22.9
97.0	-28.5	-24.6	-28.0	-24.2	-27.6	-23.7	-27.1	-23.3
98.0	-29.3	-25.1	-28.8	-24.7	-28.3	-24.2	-27.9	-23.7
99.0	-29.5	-25.5	-29.0	-25.1	-28.5	-24.6	-28.0	-24.1
100.0	-29.7	-26.0	-29.2	-25.5	-28.7	-25.0	-28.2	-24.5
101.0	-30.0	-26.4	-29.5	-26.0	-29.0	-25.5	-28.6	-25.0
102.0	-30.3	-27.0	-29.8	-26.5	-29.3	-26.0	-28.8	-25.5
103.0	-30.6	-27.7	-30.1	-27.2	-29.6	-26.7	-29.1	-26.2
104.0	-30.9	-28.5	-30.4	-28.1	-29.9	-27.5	-29.4	-27.0

X km	ZM=-27.0		ZM=-26.5		ZM=-26.0		ZM=-25.5	
	DZ m	ZO m	DZ m	ZO m	DZ m	ZO m	DZ m	ZO m
.0	-2.8	2.1	-2.8	2.1	-2.8	2.1	-2.8	2.1
1.0	-3.0	1.9	-3.0	1.9	-3.0	1.9	-3.0	1.9
2.0	-4.1	1.4	-4.1	1.4	-4.1	1.4	-4.1	1.4
3.0	-6.3	1.1	-6.3	1.2	-6.3	1.2	-6.3	1.2
4.0	-6.9	.9	-6.9	.9	-6.9	.9	-6.8	1.0
5.0	-7.4	.7	-7.4	.8	-7.4	.8	-7.4	.8
6.0	-6.5	.5	-6.4	.6	-6.4	.6	-6.4	.6
7.0	-6.4	.4	-6.4	.4	-6.4	.4	-6.4	.5
8.0	-5.3	.2	-5.2	.2	-5.2	.2	-5.2	.3
9.0	-5.6	.0	-5.6	.0	-5.6	.0	-5.5	.1
10.0	-5.9	-.2	-5.9	-.1	-5.9	-.1	-5.8	.0
11.0	-5.4	-.3	-5.3	-.3	-5.3	-.3	-5.2	-.2
12.0	-5.1	-.5	-5.1	-.5	-5.0	-.5	-5.0	-.4
13.0	-5.7	-.3	-5.7	-.3	-5.6	-.3	-5.6	-.7
14.0	-6.9	-1.1	-6.8	-1.0	-6.7	-1.0	-6.7	-.8
15.0	-7.0	-1.2	-6.9	-1.2	-6.9	-1.1	-6.8	-1.0
16.0	-7.0	-1.4	-6.9	-1.3	-6.8	-1.3	-6.8	-1.2
17.0	-7.1	-1.6	-7.0	-1.5	-7.0	-1.5	-6.9	-1.3
18.0	-7.3	-1.7	-7.2	-1.7	-7.2	-1.6	-7.1	-1.5
19.0	-7.5	-1.9	-7.4	-1.8	-7.4	-1.7	-7.3	-1.7

20.0	-7.4	-2.3	-7.3	-2.2	-7.2	-2.2	-7.2	-2.1
21.0	-9.3	-2.5	-9.2	-2.4	-9.1	-2.3	-9.1	-2.2
22.0	-7.7	-2.7	-7.6	-2.6	-7.5	-2.5	-7.4	-2.4
23.0	-7.9	-3.0	-7.8	-2.9	-7.7	-2.8	-7.6	-2.7
24.0	-9.0	-3.3	-8.9	-3.2	-8.8	-3.1	-8.7	-3.0
25.0	-9.2	-3.5	-9.1	-3.4	-9.0	-3.3	-8.9	-3.2
26.0	-9.3	-3.7	-9.2	-3.6	-9.1	-3.5	-9.0	-3.4
27.0	-9.1	-3.9	-9.0	-3.8	-8.9	-3.7	-8.8	-3.6
28.0	-8.8	-4.1	-8.7	-4.0	-8.5	-3.9	-8.4	-3.8
29.0	-7.9	-4.3	-8.8	-4.2	-8.7	-4.1	-8.6	-4.0
30.0	-7.3	-4.6	-9.1	-4.5	-9.0	-4.4	-8.9	-4.2
31.0	-7.3	-4.3	-9.7	-4.7	-9.6	-4.6	-9.5	-4.4
32.0	-8.3	-5.0	-9.7	-4.8	-9.5	-4.7	-9.4	-4.6
33.0	-9.7	-5.1	-9.6	-5.0	-9.4	-4.9	-9.3	-4.7
34.0	-9.7	-5.3	-9.6	-5.1	-9.5	-5.0	-9.3	-4.9
35.0	-10.0	-5.5	-9.8	-5.4	-9.7	-5.3	-9.6	-5.1
36.0	-11.1	-5.8	-11.0	-5.6	-10.8	-5.5	-10.7	-5.4
37.0	-12.0	-6.2	-11.8	-6.0	-11.7	-5.9	-11.5	-5.8
38.0	-13.4	-6.3	-13.2	-6.1	-13.1	-6.0	-12.9	-5.9
39.0	-11.3	-6.5	-11.2	-6.3	-11.0	-6.1	-10.8	-6.0
40.0	-11.8	-6.6	-11.6	-6.5	-11.4	-6.3	-11.3	-6.1
41.0	-10.8	-6.8	-10.6	-6.6	-10.4	-6.4	-10.3	-6.3
42.0	-11.4	-7.0	-11.2	-6.8	-11.0	-6.6	-10.8	-6.5
43.0	-11.8	-7.4	-11.6	-7.2	-11.4	-7.0	-11.2	-6.8
44.0	-13.6	-7.7	-13.4	-7.5	-13.3	-7.3	-13.1	-7.1
45.0	-13.0	-7.9	-12.8	-7.7	-12.6	-7.5	-12.4	-7.3
46.0	-13.2	-8.2	-13.0	-8.0	-12.9	-7.8	-12.7	-7.6
47.0	-13.7	-8.5	-13.5	-8.3	-13.3	-8.2	-13.1	-8.0
48.0	-14.6	-8.8	-14.4	-8.6	-14.2	-8.4	-14.0	-8.2
49.0	-14.1	-9.0	-13.9	-8.8	-13.7	-8.6	-13.5	-8.4
50.0	-13.7	-9.2	-13.5	-9.0	-13.3	-8.8	-13.1	-8.6
51.0	-14.4	-9.6	-14.2	-9.4	-13.9	-9.2	-13.7	-9.0
52.0	-15.5	-10.1	-15.3	-9.8	-15.1	-9.6	-14.8	-9.4
53.0	-16.0	-10.4	-15.8	-10.1	-15.5	-9.9	-15.3	-9.7
54.0	-15.6	-10.6	-15.3	-10.4	-15.1	-10.2	-14.9	-9.9
55.0	-15.5	-10.8	-15.3	-10.6	-15.0	-10.4	-14.8	-10.1
56.0	-15.4	-11.2	-15.2	-10.9	-15.0	-10.7	-14.7	-10.4
57.0	-16.1	-11.8	-15.8	-11.5	-15.6	-11.3	-15.3	-11.0
58.0	-17.1	-12.2	-16.9	-11.9	-16.6	-11.7	-16.4	-11.4
59.0	-16.6	-12.5	-16.4	-12.2	-16.1	-12.0	-15.9	-11.7
60.0	-16.6	-12.8	-16.4	-12.5	-16.1	-12.2	-15.9	-12.0
61.0	-17.0	-13.1	-16.7	-12.8	-16.5	-12.5	-16.2	-12.3
62.0	-17.4	-13.5	-17.1	-13.2	-16.8	-12.9	-16.5	-12.6
63.0	-18.1	-13.8	-17.8	-13.5	-17.6	-13.2	-17.3	-12.9
64.0	-17.8	-14.0	-17.6	-13.7	-17.3	-13.4	-17.0	-13.1
65.0	-17.5	-14.1	-17.2	-13.8	-16.9	-13.5	-16.7	-13.3
66.0	-17.6	-14.5	-17.3	-14.1	-17.0	-13.9	-16.7	-13.6
67.0	-18.7	-14.7	-18.4	-14.4	-18.1	-14.1	-17.8	-13.8
68.0	-18.2	-15.0	-17.9	-14.7	-17.6	-14.4	-17.3	-14.1
69.0	-19.8	-15.3	-19.5	-14.9	-19.2	-14.6	-18.9	-14.3
70.0	-19.2	-15.4	-18.9	-15.1	-18.5	-14.8	-18.2	-14.5
71.0	-19.5	-15.6	-19.2	-15.2	-18.8	-14.9	-18.5	-14.6
72.0	-19.6	-15.8	-19.2	-15.4	-18.9	-15.1	-18.6	-14.8
73.0	-20.7	-15.9	-20.3	-15.5	-20.0	-15.2	-19.7	-14.9
74.0	-20.3	-16.0	-19.9	-15.6	-19.6	-15.3	-19.3	-15.0
75.0	-20.7	-16.1	-20.3	-15.7	-20.0	-15.4	-19.7	-15.1
76.0	-21.3	-16.5	-21.0	-16.1	-20.6	-15.8	-20.3	-15.5
77.0	-24.5	-16.7	-24.1	-16.2	-23.8	-15.9	-23.4	-15.7

78.0	-22.7	-16.8	-22.3	-16.3	-22.0	-16.0	-21.6	-15.8
79.0	-	-16.9	-22.0	-16.6	-21.7	-16.2	-21.3	-15.8
80.0	-23.4	-17.2	-23.0	-16.8	-22.6	-16.4	-22.2	-16.1
81.0	-22.6	-17.3	-22.2	-16.9	-21.8	-16.5	-21.5	-16.2
82.0	-22.1	-17.5	-21.7	-17.1	-21.3	-16.7	-20.9	-16.3
83.0	-23.7	-17.9	-23.3	-17.5	-22.9	-17.1	-22.5	-16.8
84.0	-24.4	-18.4	-24.0	-18.1	-23.6	-17.7	-23.2	-17.3
85.0	-25.9	-18.8	-25.6	-18.4	-25.2	-18.1	-24.8	-17.7
86.0	-24.9	-19.0	-24.5	-18.6	-24.1	-18.2	-23.7	-17.8
87.0	-24.1	-19.2	-23.7	-18.8	-23.3	-18.4	-22.9	-18.0
88.0	-24.4	-19.7	-24.0	-19.3	-23.6	-18.9	-23.2	-18.5
89.0	-25.9	-20.1	-25.5	-19.7	-25.1	-19.3	-24.6	-18.9
90.0	-25.5	-20.6	-25.1	-20.0	-24.7	-19.6	-24.3	-19.2
91.0	-25.6	-20.7	-25.2	-20.3	-24.8	-19.9	-24.4	-19.5
92.0	-25.3	-21.0	-24.8	-20.6	-24.4	-20.2	-24.0	-19.7
93.0	-26.0	-21.5	-25.5	-21.0	-25.1	-20.6	-24.7	-20.2
94.0	-26.4	-21.8	-25.9	-21.4	-25.5	-20.9	-25.0	-20.5
95.0	-26.3	-22.1	-25.9	-21.7	-25.4	-21.2	-25.0	-20.8
96.0	-26.6	-22.4	-26.1	-22.0	-25.7	-21.5	-25.2	-21.1
97.0	-26.6	-22.8	-26.2	-22.4	-25.7	-21.9	-25.3	-21.5
98.0	-27.4	-23.3	-26.9	-22.8	-26.5	-22.4	-26.0	-21.9
99.0	-27.6	-23.7	-27.1	-23.2	-26.6	-22.7	-26.2	-22.3
100.0	-27.8	-24.1	-27.3	-23.6	-26.8	-23.1	-26.3	-22.7
101.0	-28.1	-24.6	-27.6	-24.1	-27.1	-23.6	-26.6	-23.1
102.0	-28.4	-25.1	-27.9	-24.6	-27.4	-24.1	-26.9	-23.6
103.0	-28.6	-25.7	-28.1	-25.3	-27.6	-24.8	-27.1	-24.2
104.0	-28.9	-26.5	-28.4	-26.1	-27.9	-25.6	-27.4	-25.0

X - расстояние от Каргалинского гидроузла

DZ - отметки выработанного продольного профиля

ZO - отметки св ободной поверхности воды при расходе воды 1000 куб. м/с

ZM - уровень Каспийского моря в м Б.С.

1.5. Проблемы регулирования русла в низовьях р. Терек методами активизации руслового процесса.

Наиболее эффективна активизация русловых процессов путем воздействия на форму русла, изменения как плановой конфигурации русла, так и формы продольного профиля. В этом случае русло будет развиваться на более низких иерархических ступенях организации и будет изменяться согласованно. Такой способ активизации руслового процесса эффективен на реках с большой интенсивностью русловых переформирований и сложной структурой руслового рельефа, и применяется, например, в низовьях р. Терека.

Постоянное увеличение отметок дна русла при аккумуляции наносов привело к уменьшению пропускной способности русла. Так, в 1967 г. пропускная способность русла Терека ниже Каргаллинского гидроузла (вершины магистрального рукава) составила 1350 м³/с, у с. Кутан-Аул (34,5 км ниже гидроузла) - 1240, у с. Аликазган (84,3 км) - 400 м³/с. Максимальный расход воды во время паводка превысил 1600 м³/с, на нижнем участке реки в пределы дельтовой равнины из русла поступило более 3,5 км³ воды. Были затоплены населенные пункты, временные полевые станы, сельскохозяйственные угодья, прорваны плотины рыбозводных озер. За период 1954-1977 г.г. убытки от затоплений ориентировочно составили 49,1 млн. руб.

Традиционная мера борьбы с наводнениями в низовьях Терека - сооружение противопаводковых дамб. В настоящее время обвалование существует по правому берегу реки до 83 км от Каргаллинского гидроузла, по левому берегу - до 100 км (Аграханского полуострова). На участке 0-40 км валы обеспечивают пропуск 2000 м³/с воды, на участке 40-83 км - 1000-

1800 м³/с. Однако обвалование не устраняет основной причины наводнений – аккумуляция наносов и размывов берегов. Более того, ограничение зоны разливов приводит к увеличению скорости роста поймы в межваловом пространстве и уменьшению ширины русла реки.

С середины 60-х годов в низовьях Терека начали применяться методы активизации русловых процессов. На вогнутых подмываемых берегах крутых излучин русла, перемещение которых можно привести к разрушению ограждающих дамб и прорыву потока в понижения местности, сооружается наброска из элементов макрошероховатости – бетонных тетраэдров. Они располагаются отдельными скоплениями на расстоянии 2–3 ширины русла и на участках наиболее интенсивных размывов. В большинстве случаев наброска тетраэдров активизирует местную аккумуляцию наносов и приводит к образованию внутрирусловых форм у вогнутых берегов излучин, что предохраняет их от размыва. Для снижения уровней паводочных вод проведено спрямление крутых изгибов русла. В условиях низовьев Терека проложенные в тяжелых плавневых отложениях узкие прямолинейные прорезы устойчивы, постепенно разрабатываются саморазмывом до ширины основного русла. В настоящее время сооружено 11 таких спрямлений, из них в 10 проходит весь сток воды и наносов или большая его часть, и только одно занесено наносами. Длина русла уменьшилась на 4 км, максимальный уровень воды уменьшился у Кутан-Аула на 0,1 м, у Каргалинского гидроузла – на 0,7 м. С увеличением скоростей в спрямляющих прорезях уменьшились размеры формирующихся там мезоформ. Они быстро смещаются вниз по течению, в отличие от практически стабильных мезоформ основного русла Терека. Размеры микроформ здесь значительно больше во время паводка, чем в основном русле. В узких (шириной

30–50 м) прямолинейных каналах при глубинах 6–9 м и скоростях течения до 3,0 м/с формируются активные рифели и дюны. Интенсивность динاميки иерархического комплекса русловых форм в спрямлениях существенно больше, чем в основном русле, что способствует отмиранию основного русла. В русле Терека неспряженными остались 5 изгибов с коэффициентом формы 1,4–1,6. Их спрямление может уменьшить длину реки дополнительно на 4,0 км. Расчеты, проведенные по модели выработанного продольного профиля (раздел 1.4) показывают, что это приведет к активизации врезания русла, понижению отметок дна и максимальных уровней воды на 1,0–1,2 м в вершине участка.

В нижней части русла Терека наиболее крупным спрямлением является канал-прорезь через Аграханский полуостров. С помощью этого канала устье Терека перенесено с мелководий Северного Каспия в приглубую зону Среднего Каспия. Идея создания такой прорези принадлежит Б.А.Шумакову, который в 1929 году прошел маршрутом зону разливов Каргалинского прорыва, дал глубокий научный анализ процессов формирования русла и дельты Терека в новых условиях, прогноз заиления Аграханского залива и возможность нового катастрофического прорыва Терека в пониженную часть дельтовой равнины.

В результате сооружения прорези длина Терека сократилась на 25 км (северный участок русла общей протяженностью 30 км был заменен каналом длиной 5 км). Уровень воды в голове прорези понизился на 3 м. На нижнем участке русла сформировалась кривая спада свободной поверхности воды с уклонами в прорези $8 \cdot 10^{-4}$. Началась интенсивная эрозия дна и берегов прорези и русла реки. Уже через месяц зона увеличения уклонов свободной поверхности воды и глубинной эрозии русла распространилась на 20 км вверх по реке, через 13 мес. после открытия прорези — на 45 км. Область максимального размыва, соответ-

ствующая области максимального увеличения уклона поверхности воды, через год после открытия прорези располагалась в 10 км от устья реки (расход здесь составил 2,1 м), через 2 года - в 15 км (2,3 м), через 6 лет - в 20 (1 м), через 10 лет - в 26 км (0,4 м). В целом в русле Терека было размывто в 1973 г. и с 1977 по 1987 г. 4,54 млн.м³ наносов, из которых 3,94 млн.м³ было вынесено в море, а остальные переотложились в русле.

Активизация руслового процесса на всех структурных уровнях при сооружении спрямления через Аграханский полуостров резко снизила угрозу наводнений в низовьях реки. В период 1978-1989 гг. в низовьях Терека проходили паводки с максимальными расходами воды до 900 м³/с. Уровень Каспийского моря за этот период повысился на 1,3 м. Но прорывов валов и затоплений местности за эти годы не происходило.

Сравнение отметок рассчитанных (раздел I.4) и фактических профилей дна реки за 1979-1987 гг. показывает, что на верхнем и нижнем отрезках реки они практически совпадают. В средней части Каргаллинского прорыва фактическая поверхность дна расположена ниже, чем это следует из денных численного решения уравнений. Указанное расхождение может свидетельствовать о потенциальном ходе развития русла Терека, т.е. русло будет развиваться в направлении, приближающем фактический профиль к эквивалентному профилю дна.

При невыработанном продольном профиле реки обвалование русла является временной мерой. По мере повышения отметок дна обвалование необходимо периодически усиливать. Наличие валов сопровождается снижением отметок выработанного профиля дна вследствие сосредоточения в русле повышенного стока реки, который в естественных условиях должен был аккумулироваться в

на увеличение расходов воды и наносов вызывает интенсивное повышение отметок поймы, и следовательно, уменьшение времени формирования. В результате происходит повышение отметок паводочных уровней воды.

В указанных сложившемся выработанного продольного профиля обводненного русла Каргалинского прорыва будет наиболее эффективной средним защити дельты Терека от затоплений. В этом случае потребуется частичное усиление противопаводочных валов вдоль устьевом участка реки, которое может быть закончено за 5-10 лет.

Если в русле реки будут организованы землечерпательные работы, в этом случае изменятся начальные отметки продольного профиля дна. Эти отметки в явном виде не влияют на отметки эквивалентного профиля русла. Однако их величина определяет время формирования выработанного профиля. Расчеты показывают, что углубление русла Каргалинского прорыва на 1 м увеличит время формирования на 50-80 лет.

Для обеспечения защиты дельты Терека от наводнений из русла необходимо извлечь около 10 млн.м³ грунта. Два земснаряда с производительностью 1000 м³/час выполняют такую работу за один год. Малые сроки осуществления работ, их небольшая стоимость и достаточная с инженерной точки зрения эффективность является положительной стороной выправительных мероприятий. Они имеют и отрицательные стороны. Во-первых, это временная мера. Общий срок эффективности работ не превышает 50-80 лет. На отдельных участках реки (в расширениях русла) аккумуляция наносов и повышение отметок дна будет протекать гораздо быстрее и восстановление современных условий может осуществляться в первые несколько лет. Во-вторых, мощные зем-

снаряды на Тереке осложняют экологическую обстановку, наносят ущерб воспроизводству ценных видов рыб.

Может быть выполнено водостеснение - уменьшение ширины потока. На первый взгляд, ^Iна это указывают результаты численных расчетов, это очень эффективная мера: уменьшение ширины русла на 10-20 м приводит к понижению выработанного профиля дна на 0,5 м. Однако при этом в большей степени (на 0,8-1,0 м) увеличивается глубина потока для расчетного расхода и, следовательно, растут отметки горизонта паводочных вод.

Уменьшение водоносности Каргалинского прорыва вызывает очень большой (на 1,0-1,5 м) рост отметок эквивалентного профиля дна и, следовательно, - горизонта паводочных уровней, если учитывать невозможность полного "срезания" паводков вследствие водозабора на нужды орошения. В перспективе планируется дальнейшее расширение площади орошаемых земель, что будет сопровождаться увеличением повторяемости меньших расходов воды и повышением отметок дна по трассе русла Каргалинского прорыва. Поэтому проекты регулирования стока и русла в низовьях Терека должны учитывать возможное изменение положения эквивалентного профиля дна и свободной поверхности.

Аналогичное воздействие на положение эквивалентного профиля оказывает уменьшение водности реки в паводочный период, если сбрасывать часть максимального стока в плавни и пески. Кроме того, что это является примером нерационального использования природных ресурсов, нужно учитывать отсутствие в верхней части дельты естественных аккумулярующих емкостей. Поэтому принятие такого плана защиты низовий Терека от наводнений требует искусственного создания крупных водоемов.

Противопаводочные водохранилища, срезающие пики паводков, в бо^{ль}шей степени влияют на поверхность расходов воды, чем

на объем стока. Одновременно может изменяться и режим транспорта речных наносов. Некоторое повышение отметок профиля дна вследствие увеличения доли небольших расходов воды компенсируется их опусканием за счет уменьшения мутности в нижнем бьефе водохранилищ.

Таким образом, изменение определяющих факторов руслового процесса в низовьях Терека для защиты дельты от наводнений приведет к оптимальным результатам, если будет предусмотрено проведение следующего комплекса мероприятий: 1 - приведение современного продольного профиля дна на устьевом участке реки к выработанному эквивалентному профилю, рассчитанному для перспективного гидрологического режима реки. Это может быть достигнуто активизацией процессов размыва при сокращении длины русла на 4-5 км; 2 - сооружение противопаводочного водохранилища, позволяющего уменьшить максимальные расходы воды 1% обеспеченности до 1000 м³/с; 3 - доведение высоты противопаводочных валов к отметкам на 0,5 м выше горизонта воды при расходе 1000 м³/с.

Однако масштабная активизация руслового процесса, кардинальное изменение формы русла в устьевой области реки отрицательно сказались на экологической обстановке в регионе. Вывод Терека в Средний Каспий привел к осушению северной части Аграханского залива. Здесь с середины 40-х годов формировалась причлененная дельта Терека и к 1977 г. залив был практически полностью заполнен речными наносами. Русло Терека терялось в заросших тростником плавнях с глубинами воды 5-30 см; сосредоточенный поток фиксировался только в рыбоходе, прорытом через Чаканные ворота до моря. В заливе оседали практически все фракции наносов, поступающих из реки. Однако естественный процесс отмирания залива происходил медленно, а пос-

ле окончания Каргалинского цикла развития должна была сформироваться новая озерно-плавневая зона. В условиях техногенного перевода Терека в новое русло отмирание залива произошло катастрофически быстро. Зимой 1973 года произошла гибель рыбы под осевшим льдом. Лишились привычных мест гнездования птицы, мест обитания — звери. Исчезла мелководная, хорошо прогреваемая вода, служившая местом нагула молодежи ценных осетровых рыб. Исчез скат молодежи осетровых в среднюю часть Каспия с соленостью вод до 13‰; существует точка зрения, что это приводит к их гибели. В настоящее время акватория северной части Аграханского залива заполнена водой в результате ингрессии сюда вод Каспия при подъеме его уровня. С Терекком залив соединен искусственным Кубякинским каналом. Это временно уменьшило остроту экологических проблем, связанных с активизацией русловых процессов в низовьях Терека. Однако после замления Кубякинского канала и падения уровня моря, эти проблемы опять возникнут. Пример нижнего Терека показывает, что оптимальность крупномасштабных проектов активизации русловых процессов существенно уменьшается из-за вовлечения в сферу их воздействия большого комплекса геоэкологических процессов.

Заключение

Анализ материалов исследований низовьев Терека и его новой дельты показывает, что в настоящее время на участке реки ниже Каргалинского гидроула сложилась критическая ситуация. При возможности прохождения по реке расхода воды $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ существующие противопаводочные валы /по расчетам на закрепленных поперечниках/ способны удержать в русле расходы $2000 - 1000 - 400 \text{ м}^3/\text{с}$ с уменьшением вниз по течению. Между расчетными поперечниками пропускная способность русла может быть еще меньше из-за плохого состояния валов. На нижних 40 км сильно сказывается рост уровней Каспийского моря. Последствия наводнения могут быть катастрофическими.

В этой связи рекомендуется:

1. Привести продольный профиль русла реки к выработанному на максимально низких отметках, для чего провести спрямление крутых изгибов реки.

2. Провести реконструкцию противопаводочных валов, довести их высоту до отметок, превышающих уровни воды при расходе $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ /без регулирования стока/ или до уровней, определяемых противопаводковым водохранилищем.

3. Провести регулирование стока воды в Тереке и срезать пики паводков.