

УДК 556.535:627.4

А.С. Никулин, М.Я. Поволоцкий
Севкавгипроводхоз
Н.И. Алексеевский,
А.К. Сидорчук
МГУ



ПЕРЕСТРОЙКА ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РУСЛА Р. ТЕРЕКА В УСЛОВИЯХ УВЕЛИЧЕНИЯ УГЛОНА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В устьевых областях многих рек, где интенсивное водопотребление и гидротехнические сооружения сильно изменяют естественный режим стока, происходят существенные преобразования русел дельтовых рукавов. Изменения в плановом поло-

жении и перестройки продольных профилей русел рек, в свою очередь, вносят коррективы в характер водопотребления и режим работы гидротехнических сооружений. Русловые процессы в низовьях р. Терека, происходящие в результате спрямления реки и роста уклона водной поверхности, во многом типичны, их протекание за последние несколько лет и прогноз дальнейшего развития рассматриваются в этой статье.

Известная за последние несколько столетий история развития гидрографической сети дельты Терека показывает, что образование новых рукавов происходит здесь путем прорыва береговых каналов и затопления пониженных частей дельтовой равнины. В дальнейшем эти понижения заполняются наносами, строится возвышающаяся над окружающей поймой русловая грива, в пределах которой и течет магистральный рукав. По мере удлинения рукава и повышения его дна увеличивается вероятность нового прорыва, который и происходит во время очередного крупного паводка. Таким образом проходило формирование и развитие современного магистрального рукава дельты Терека-русла Каргалинского прорыва. В 1914 году по реке прошел катастрофический паводок, а так как северная часть дельтовой равнины была к тому времени относительно повышена наносами рукавов Терека, прорыв произошел в южном направлении. Здесь уже существовала цепь плавневых озер и болот, соединенных между собой мелкими проточками и пополнявшихся водой во время паводков. В эту стокилометровую плавневую зону и начал сбрасываться почти весь сток воды и наносов Терека. Наносы аккумуляровались в озерах, а практически чистая

вода сбрасывалась через существовавшую еще до прорыва речку Аликазган / и, частично, через Кордонку / в Аграханский залив Каспийского моря. Через 25-30 лет после прорыва озера и болота были заполнены наносами реки, сформировалось русло, занимающее командное положение над местностью, а весь сток наносов, поступающих в вершину рукава, стал сбрасываться в Аграханский залив. Началось быстрое устьевое удлинение русла Аликазгана и наполнение наносами Аграханского залива. К 1954 году южная часть залива была отчленена дельтой и превратилась в озеро, к 1977 году северная часть залива была почти полностью заполнена дельтой основного рукава Аликазгана-Главного Банка. Рост отметок дна русла в нижней части рукава привел к уменьшению его пропускной способности здесь до 200-300 м³/м², подпор начал распространяться вверх по реке. Возникла реальная угроза очередного изменения гидрографической сети дельты Терека, прорыва валов и образования нового магистрального рукава в еще более южной части дельтовой равнины. Участились случаи локальных прорывов противонаводочных дамб, затопления сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов.

Подобные нежелательные последствия последней стадии развития русла Каргалинского прорыва были предусмотрены в проектных документах еще в 30-е годы, когда основной рукав только формировал свое русло. В качестве одного из вариантов стабилизации рукава было предложено вывести его в Средний Каспий по искусственному каналу через

Аграханский полуостров. Относительно большие глубины моря и волновая активность должны препятствовать устьевому удлинению и способствовать замедлению однонаправленных русловых деформаций. Реальность этой меры была подтверждена дальнейшими разработками и к концу 60-х годов канал через Аграханский полуостров был сооружен. Однако выпуск Терека в Средний Каспий привел к осушению Северного Аграханского залива, отметки дна которого уже превышали уровень моря. Залив имел большое значение для адаптации молодежи осетровых рыб, скатывающийся в низовья реки из нерестилищ среднего течения, кроме того служил местом обитания большого количества дикой птицы и зверя. Поэтому по настоянию рыбохозяйственных организаций канал через Аграханский полуостров был законсервирован. В начале 1973 года в ходе заторных явлений верховая перемычка канала была сорвана и воды Терека устремились напрямую в Средний Каспий. В октябре того же года перемычка в голове канала была восстановлена. Прорыв 1973 года показал как положительные стороны работы прорези через Аграханский полуостров — быстрое врезание реки и снижение отметок водной поверхности, так и отрицательные — осушение Аграханского залива, гибель рыбы, лишение привычных мест обитания птицы и зверя. Однако отрицательные последствия работы искусственного канала могут быть / и должны быть / устранены природоохранными мероприятиями, в то время как дальнейшее развитие русла Каргалинского прорыва на мелководьях Северного Каспия грозило осушением не только акватории Аграханского залива, но и исчезновением терских вод в двух засушливых

районах Дагестана—Тарумовском и Кизлярском, да еще и после неоднократных наводнений. Поэтому в августе 1977 года, когда уже сравнительно малые паводки начали подтапливать населенные пункты в низовьях Терека, прорезь через Аграханский полуостров была открыта.

В результате открытия прорези длина русла нижнего Терека сократилась на 25 км/нижний участок реки с остатками залива длиной 30 км был заменен прорезью длиной 5 км/Свободная поверхность воды приняла выпуклую форму, средний уклон реки в нижней части кривой спада составлял при открытии канала 0,8%. Уже через месяц после выпуска воды Терека через прорезь зона увеличения уклона свободной поверхности воды распространилась на 20 км вверх по реке /рис.1/. В самой же прорези уклоны относительно уменьшились, а у устья ее кривая спада свободной поверхности воды сменилась кривой подпора. К концу 1978 года /через 13 месяцев после открытия канала/ уклон свободной поверхности воды увеличился уже на 30 километровой участке низовьев реки. Кривая поверхности воды разбилась на четыре участка: кривую спада от 74 до 84 км /километраж по длине реки ведется от Каргалинского гидроузла/; кривую подпора от 84 до 89 км; снова кривую спада с 89 по 94 км; и снова кривую подпора на нижнем участке, с 94 км до моря. Увеличение уклонов во времени происходило только на верхнем участке, 85-84 км /с 0,13% в 1977 г. до 0,23% в 1978г/, в средней части области перестройки продольного профиля уклоны мало изменились /с 0,29% в 1977 г. до 0,26% в 1978 г/, а в пределах искусственного канала еще более

уменьшились /с $0,28\%$ в 1977 г. до $0,14\%$ в 1978 г./ К концу 1979 года форма кривой свободной поверхности изменилась мало, но зоны спада и подпора сильнее обособились, несколько распространились вверх по реке нижняя зона подпора. Соответственно уменьшились уклоны на участке от 92 до 100 км /от $0,28\%$ в 1978 г. до $0,22\%$ в 1979 г./, ниже по течению уклоны не изменились. В средней части свободная поверхность воды вновь смещалась параллельно самой себе, уклон в конце 1979 г. составлял здесь $0,23\%$. На верхнем участке уклоны возросли еще на 20% , составив $0,28\%$. Область перестройки продольного профиля распространилась до 66 км, но интенсивность переформирования снизилась. Еще более уменьшилась скорость изменения продольного профиля свободной поверхности к концу 1980 г. Сместились вверх по реке оба участка подпора, область уменьшения уклона распространилась до 90 км. В средней части рассматриваемой области уклон мало изменился: в верхней несколько увеличился.

Таким образом, в нижнем течении русла магистрального рукава дельты Терека в результате искусственного увеличения уклона устьевой его части прокатилась вверх по реке отрицательная волна. Её фронт с большой и быстро уменьшающейся во времени скоростью двигался параллельно самому себе от устья реки до 90 км. Здесь верховой склон волны изогнулся, нижняя его часть резко замедлила скорость движения, верхняя часть стала более пологой и, как бы образовав новую отрицательную волну, продолжала двигаться вверх по течению. Ложбины обеих волн перемещались по образующим, примерно параллельным начальной кривой свобод-

ной поверхности воды в реке. При этом происходила посадка на уровень воды, которая при сравнимых меженных горизонтах составила с августа 1977 по сентябрь 1980 г. 3 м в голове искусственного канала /99,5 км/ 1,7 м на 90 км и далее постепенно выклинивалась к 60 км.

Прохождение по реке обратной отрицательной волны и снижение отметок водной поверхности было связано с размывом дна в низовьях русла. Этот размыв проходил в сложной форме — на фоне однонаправленных изменений отметок дна наблюдались знакопеременные деформации русла при прохождении паводков. На перекатных участках при подъеме уровня воды отметки дна увеличивались, происходила аккумуляция, которая либо компенсировала, либо превышала величину общей однонаправленной эрозии /или увеличивала скорость однонаправленной аккумуляции/. На спаде уровня картина была обратной. На плесовых участках на подъеме паводка однонаправленная эрозия усиливалась /однонаправленная аккумуляция ослабевала или сменялась размывом/, на спаде уровня воды дно плесов или стабилизировалось, или заиливалось. Наличие знакопеременных деформаций сильно затрудняет анализ однонаправленных русловых преформирований. Необходимо использовать данные только тех промерных работ, что проводились при примерно одинаковых расходах воды. На основании отвечающих этим требованиям данных Терско-Сулакской устьевой станции, Севкавгипроводхоза и МГУ были вычислены изменения осредненных по ширине реки отметок дна по сравнению с положением продольного профиля дна от

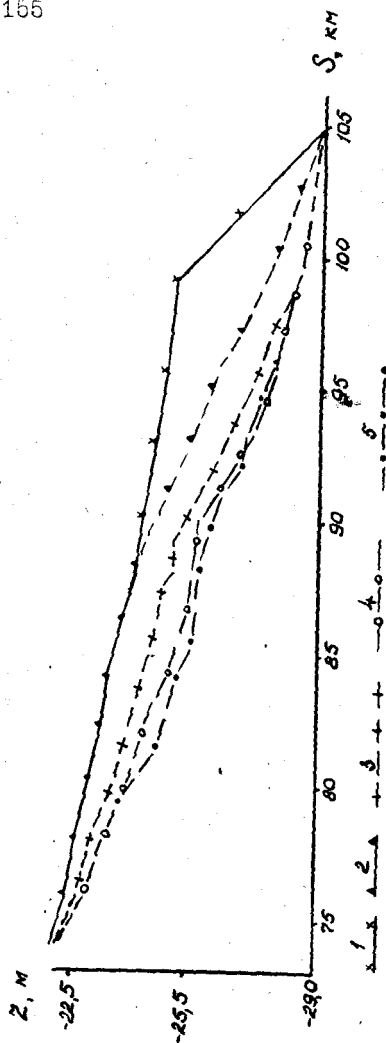


Рис. 1 Перестройка кривой свободной поверхности воды р.Терека после открытия прорези через Аграханский полуостров. Положение свободной поверхности воды:

1. в момент открытия прорези;
2. через 1 месяц после открытия прорези,
3. через 13 месяцев;
4. через 25 месяцев;
5. через 34 месяца после открытия прорези.

открытия канала. Через три месяца после начала деформаций регрессивная эрозия распространилась более чем на 20 км от устья реки / рис. 2/. В приустьевой зоне размыв дна составил 20-40 см, увеличиваясь до 100-200 см в голове канала, а далее вверх по реке постепенно затухал. Через 9 месяцев работы прорези эрозия распространилась на 30 километровом отрезке реки, достигнув 74 км. В устьевой зоне размыв прекратился, ниже устьевого створа на 800-1000 м выдвинулась новая дельта Терека. Выше устьевого створа эрозия дна прорези продолжалась, составив здесь 70-140 см, а область максимального размыва сместилась примерно на 1 км вверх по реке, где общее снижение дна составило 250 см. Далее вверх по руслу величина размыва уменьшилась, на 84 км она составила 70 см, на 74 км - 10 см. Общий объем грунта, вынесенный в море только за счет размыва дна реки составил за 9 месяцев работы прорези 1790 тыс. м³. Через полтора года работы искусственного канала / в конце 1978г/ в его русле уже наблюдалась аккумуляция наносов. На большей части длины прорези отметки дна практически сравнялись с начальными, только в голове канала общее понижение дна еще составляло 70-80 см. Объем аккумуляции наносов в прорези на вторую половину 1978 года достиг 56 тыс. м³. Выше головы канала продолжалась эрозия. Зона максимального размыва сместилась в район 96 км, выше по течению общее понижение дна уменьшалось. В области эрозии за вторую половину 1978 г. было размыто 237 тыс. м³ грунта. К середине 1979 г. зона максимальной общей эрозии достигла 90 км, соответственно сместилась вверх по реке область аккумуляции. На 90 км

происходил резкий скачок в скорости эрозионных процессов — здесь общая величина размыва снизилась почти вдвое, на участке русла до 80 км составлял около 100 см, а затем уменьшался к 70 км до нуля. Объем аккумуляции от устья до 96 км составил за 1979 год 767 тыс. м³, объем размыва на отрезке русла от 96 до 70 км — 256 тыс. м³ грунта. К концу 1980 года в русле канала продолжалась аккумуляция наносов / 624 тыс. м³ за год /, отметки дна в устьевой зоне становятся на 30–50 см больше начальных. На всем остальном протяжении реки однонаправленные деформации практически не проявлялись. Скорости эрозии дна снизились почти до нуля; максимальный размыв достиг 90 км. Общий объем прорывов размыва, вынесенных в море, составил 3778 тыс. м³ / с учетом того, что наиболее активный начальный размыв повторялся дважды, в 1973 и 1977 годах и того, что часть материала размыва аккумуляровалась в прорези /.

Наряду с вертикальными переформированиями в низовьях русла магистрального рукава дельты Терека наблюдались весьма интенсивные горизонтальные деформации. Наиболее активно размыв берегов происходил в самом искусственном канале, размеры которого были запроектированы на пропуск расхода воды 250 м³/с. Во время прорыва 1973 года когда расходы воды превышали 400 м³/с, за 9 месяцев берега прорези были размывы на величины от 3 до 230 м, причем интенсивность горизонтальных деформаций увеличивалась от головы к устью канала. В результате первоначально параллельные берега канала начали расступаться к низовьям, река в устье

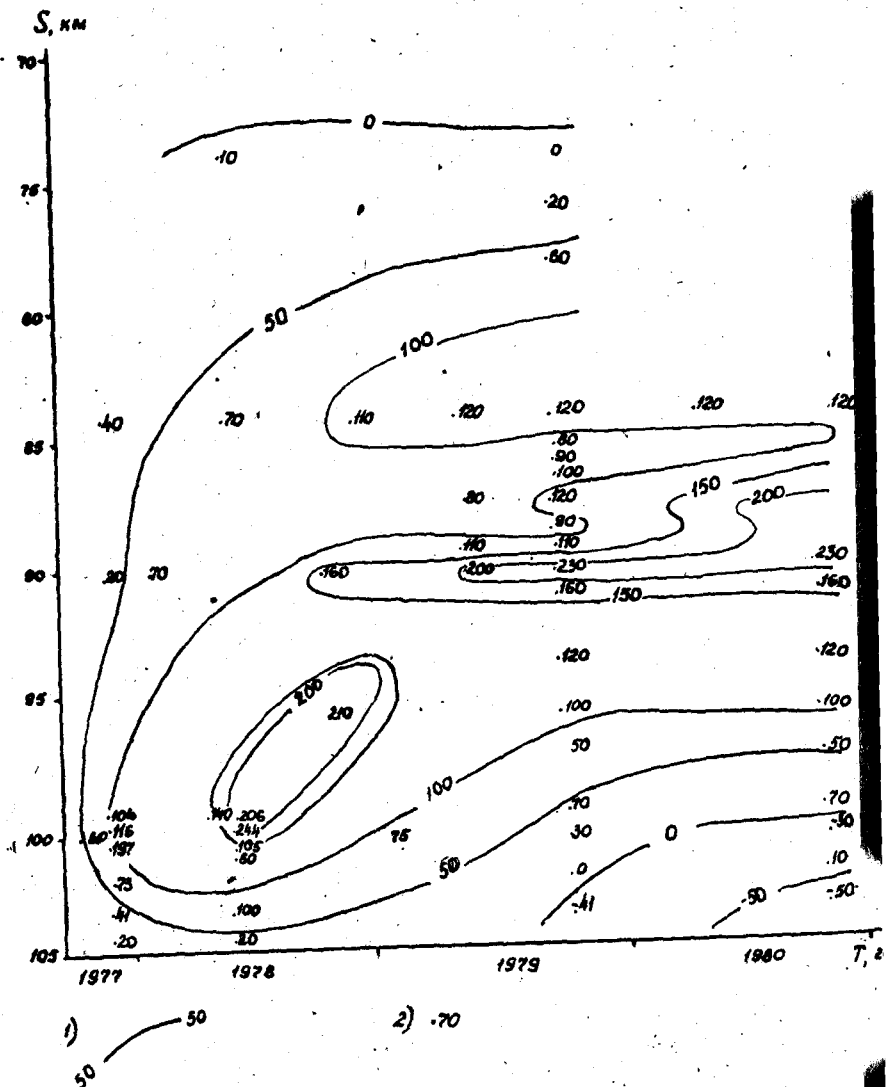


Рис. 2. Переформирование дна русла нижнего Терека после открытия прорези через Аграханский полуостров

1. Изопахиты общего размыва /+ / и аккумуляции /- / с момента открытия прорези,
2. Величина общих размыва /+ / и аккумуляции /- / в точках измерений.

приобрела воронкообразную форму. Размыв берегов в прорези был весьма интенсивен и после второго пуска через нее вод Терека. К концу 1980 года он составил в среднем 15 м, в целом увеличиваясь от головы прорези к морю. Но наиболее крупные плановые деформации в канале произошли в 1977 году непосредственно у перемычки, отделявшей канал от реки. При открытии прорези в августе 1977 года перемычка была взорвана у левого берега канала. Размыв сосредоточился в месте проыва, а так как перемычка была сложена тяжелым грунтом с основанием из каменной наброски, поток обогнул ее слева, разработав русло шириной 100-150 м в эоловых отложениях Аграханского полуострова. Ниже верхнего изгиба, шпорой которого являлись остатки перемычки, уже к маю 1978 года заложился второй изгиб, вызвавший размыв правого берега на 70-80 м. В настоящее время эта система из двух излучин смещается вниз по прорези.

Выше головы канала размывы берегов были также связаны с несоответствием размеров реки проходящим расходам воды. В 1978 году в низовьях русла Аликазгана в пойменных бровках впервые за время его существования прошел расход $800 \text{ м}^3/\text{с}$, ранее при паводочных расходах более $300-400 \text{ м}^3/\text{с}$ вода выливалась на пойму. Паводки 1978 года и вызвали основные размывы берегов в низовьях русла выше прорези. Если через месяц после открытия канала визуальные наблюдения показали размыв берегов примерно на 10-15% протяжения русла, а величина его в основном составляла 1 м, лишь местами до 2 м, то в 1978 г. размыв берегов произошел практически на протяжении всего

участка деформаций, а величина его местами превосходила 20 м, в среднем составил 6 м. В мелководном 1979 году визуально размыв берегов не наблюдался, хотя кое-где происходило отседание подмытых ранее глыб грунта. 1980 год был средним по водности, размыва берегов также не зафиксировано, осыпи и оползни на большей части протяжения русла заросли камышом.

Таким образом, прошедшая по низовьям Терека обратная отрицательная волна свободной поверхности воды сопровождалась аналогичной волной эрозии дна, которая дошла до 74 км. Размыв дна прорези во многом обуславливался размерами канала и закономерно затухал к устью. В начальном момент максимум размыва приходился на зону максимального увеличения уклонов водной поверхности в голове прорези, и по мере смещения вверх по реке области максимального уклона смещалась вверх по реке и зона максимального размыва. В нижней части русла вскоре началось уменьшение уклонов свободной поверхности воды. С уменьшением уклонов связана волна аккумуляции, которая прошла вверх по руслу и достигла 96 км. Следует отметить, что аккумуляция в русле не связана с подпором, который оказывает новая дельта Терека, формирующаяся на взморье Аграханского полуострова. Длина этой дельты к концу 1980 г. составила 1,5 км, а рост уровней воды в устьевом створе реки — всего 4–10 см. Аккумуляция в реке произошла за счет компенсации сильного переуглубления дна, когда рост уклонов совпал с прохождением мощных паводков 1978 года. В прорези, кроме того, аккумуляции способствовало резкое расширение русла.

Интенсивность эрозии сильно уменьшилась во времени, по мере снижения скорости изменения уклонов свободной поверхности. На 90 км в конце 1977 года размыв чел со скоростью 20 см в месяц, в середине 1978 года—14 см/месяц, в середине 1979 года—8-8 см/месяц, а в 1980 году величина размыва была соизмерима с точностью промера глубин. Выше 90 км интенсивность размыва резко уменьшилась почти вдвое. Здесь же произошло снижение скорости движения вверх по реке фронта отрицательной волны свободной поверхности. Анализ продольного профиля низовьев реки, полученного Терской партией ГВ в 1978-80 гг. и данных бурения Севкавказпроектхоза 1975 года, показывает, что уменьшению величины размыва и снижению его интенсивности в низовьях Терека способствуют особенности литологии подстилающих русло реки грунтов. Во-первых, это плотные глины, которые откладывались в Аграханском заливе, отгороженном полуостровом от моря. Их поверхность залегала до размыва примерно на отметках—28,5 м абс. Как видно на рис. 3, примерно от 100 до 96 км поверхность глин сильно размыва, кое-где на полную мощность. В этой области и зафиксированы максимальные величины эрозии /в плесах до 250 см/. Выше 96 км средние отметки дна 1979-80 гг. совпадают в основном с отметками поверхности глин, лишь редкие плесовые лоцины врезаются глубоко в их толщу. Таким образом на участке русла от 96 до 91 км располагается первый порог, который препятствует размыву в низовьях магистрального рукава дельты Терека.

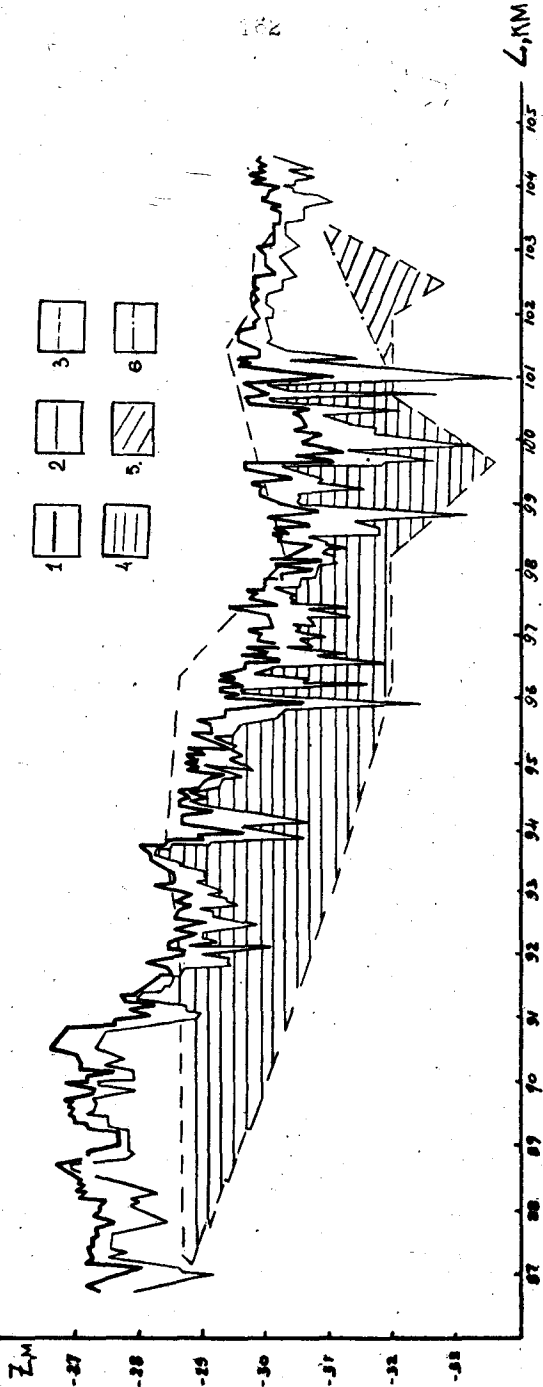


Рис. 3 Продольный профиль дна русла речного порога и прорези через Агреханский порог.

- 1. Стметки дна, осредненные по ширине реки.
- 2. Стметки линий максимальных глубин.
- 3. Границы толщи глин до размыва по данным бурения 1965 г.
- 4. Лагунные глины.
- 5. Морские глины.
- 6. Поверхность морских глин после размыва.

Вторым: в настоящее время основным препятствием для размыва являются мощные аккумулятивные образования, расположенные на 88-90 км. Именно с ними связаны и кривая подпора свободной поверхности воды, и резкое изменение интенсивности размыва, и внезапное изменение отметок дна. В этой области располагалось устье Аликавтана еще до возникновения Нургалинского порога. Здесь с 40-х годов начала формироваться дельта заполнения в Аграханском заливе. Бурение 1963 года показало, что этот порог сложен аллювиальным материалом, лежащим в рыхлом состоянии. Поэтому задержка размыва дна примерно на отметках -27,5 не объясняется литологическими причинами. Скорее всего уменьшению эрозионной способности потока способствует местное расширение реки, сводящее на нет увеличение уклонов в реке. В таком случае дальнейшее развитие размыва дна в области порогов взаимосвязано. Размыв верхнего порога может произойти только в случае увеличения уклонов /если не рассматривать вариант искусственного сужения русла/. Увеличение уклонов, в свою очередь, тормозится наличием нижнего порога, который препятствует увеличению перепада отметок водной поверхности на 90-91 км. Расчеты, выполненные по формуле Ц.Е. Мищенко /1970/ показывают, что неразмывающие скорости для слагающих нижний порог лагуновых глин близки по величине средним скоростям в русле на этом участке при паводках. Это означает, что естественный размыв глин будет происходить очень медленно и система двух местных базисов эрозии в низовьях Терека сохранится неопределенно

долгое время. Несодназначность пленового и высотного положения базиса эрозии с необходимостью предполагает многовариантный прогноз развития продольного профиля реки.

В условиях выхода р. Терек в Средний Каспий предельное устьевое удлинение реки по ориентировочным оценкам, выполненным по формулам В.Ф. Полонского /1978/, составит около 5 км. При достижении дельтой Терека длины 5 км количество наносов, выносимых рекой на единицу длины морского ее края сравнивается с количеством наносов, уносимых волновыми течениями и выдвигание дельты в море практически прекратится. В таком случае можно ожидать формирования в низовьях Терека выработанного продольного профиля дна, когда однонаправленные русловые преобразования, столь характерные на всех этапах естественного развития устьевой области реки, прекратятся.

Необходимым условием существования выработанного профиля при неизменности расхода воды вдоль реки /что близко к реальности на нижнем Тереке/, является сохранение по длине реки осредненной мутности руслообразующих наносов. Проверка эмпирических формул ряда авторов показала, что наилучшее совпадение с натурными данными дает формула К.И. Россинского /1964/ для верхней огибающей поля точек

$$\rho_p = 0.024 \frac{u^3}{\omega \cdot h} \quad /1/$$

Здесь ρ_p - мутность руслообразующих наносов в $\text{кг}/\text{м}^3$; u - средняя скорость потока; h - средняя глубина. Отметим, что для проверки применимости формул использовались только те данные о мутности воды, которые сопровождались

определением гранулометрического состава взвеси. Большинство кривых распределения взвешенных наносов по фракциям /построенных с применением равноотстоящей шкалы диаметров/ имели две моды, что указывает на полигенетичность взвеси. Было сделано предположение, что первая мода кривой распределения принадлежит руслообразующим наносам, участвующим в процессе взаимодействия в системе поток-русло, а вторая мода - транзитным наносам, в русловых переформированиях практически не участвующим. Линия, разделяющая наносы на руслообразующие и транзитные, в среднем проходит в области размеров частиц 0,05 мм. Этот диаметр принимался граничным в тех случаях, когда бимодальность кривых распределения была плохо выражена. Для проверки эмпирических формул использовались мутности выделенных таким образом руслообразующих наносов.

Большое влияние на уклон водной поверхности в дельте Терека оказывает грядовая шероховатость. Поэтому, следуя К.В.Гришанину/1979/ для определения уклона водной поверхности было подобрано двучленное выражение

$$J = 0.06 \frac{U^2}{gh} \left(\frac{d_3}{h} \right)^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{150000} \cdot \frac{gh}{U^2} \quad /2/$$

где J - уклон, d_3 - медианный диаметр донных грунтов в мм, g - ускорение силы тяжести; все остальные обозначения прежние. Первый член правой части уравнения /2/ описывает уклон трения, связанный с зернистой шероховатостью, второй член - уклон, связанный с грядовой шероховатостью. Это уравнение может рассматриваться только как сугобо региональное,

при скоростях течения 0,5 м/с оно дает большую погрешность. Однако, в условиях нижнего Терека формула Шези с коэффициентом Маннинга приводит к вдвое /в среднем/ большим ошибкам, чем выражение /2/.

Если к /1/ и /2/ присоединить формулу для вычисления расхода воды

$$Q = U \cdot B \cdot h \quad /3/$$

где Q - расход воды в м³/с, B - ширина русла в м, то получим замкнутую систему уравнений, из которой можно определить для каждого расхода воды Q_i в каждом j - том створе среднюю скорость течения

$$U_{ij} = \sqrt[4]{\frac{\rho_i \cdot \omega_i}{0.024}} \cdot \frac{Q_i}{B_{ij}} \quad /4/$$

среднюю глубины

$$h_{ij} = \frac{Q_i}{B_{ij} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_i \cdot \omega_i}{0.024}} \cdot \frac{Q_i}{B_{ij}}} \quad /5/$$

и с помощью /2/, /4/, /5/ - отметки свободной поверхности воды

$$Z_{ij\text{пов}} = Z_{i0} + \sum \gamma_{ij} \cdot \Delta X_i \quad /6/$$

и дна

$$Z_{ij\text{дно}} = Z_{ij\text{пов}} - h_{ij} \quad /7/$$

Здесь Z_{i0} - отметка уровня воды в начальном створе, в общем случае зависящим от расхода воды, ΔX_i - расстояние между j - тым и $j + 1$ створами.

По формулам /1/-/7/ были проведены расчеты положения свободной поверхности воды и дна поверхности воды и дна реки при паводочных расходах воды /пример для расхода 1^м

обеспеченности $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ привеле: в табл.1. При этом величины $Z_{\text{глов}}$, $Z_{\text{дно}}$ были получены на основании полевых работ института "Северокавказгидрострой" и Терской партии МГУ на нижнем Тереке. Стметка свободной поверхности в начальном створе Z_0 находилась из формул /7/ и /5/ исходя из предположения, что порог на 40 км ниже Каргалинского гидрсузла неразмываем, т.е. дно постоянно имеет отметку $-27,5 \text{ м}$.

Если предположить, что сложенный аллювиальным материалом верхний порог будет размыт в ближайшее время и базисом эрозии будет служить нижний порог с отметкой дна $-28,5 \text{ м}$, то все стметки в табл.1 следует уменьшить на 1 м .

Однако, данные табл.1 могут быть приняты во внимание, лишь в том случае, если паводочный расход в $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ будет проходить по реке с выработанным этим расходом продольным профилем, т.е. русловые переформирования будут настолько интенсивны, что изменения дна на протяжении всех 100 км нижнего течения р.Терек будут успевать за изменениями расхода воды. И хотя в пользу последнего предположения свидетельствует наличие связей между расходами воды и отметками дна реки на всех исследованиях створах русла Нижнего Терека, тем не менее вероятность того, что продольный профиль реки будет иметь постоянно форму выработанного, мала. Поэтому разумно вместо продольного профиля, выработанного данным паводочным расходом/который располагается гипсометрически тем ниже, чем больше расход воды/, найти

положение продольного профиля дна реки, выработанного всем диапазоном расходов воды в реке. Исходя из этого эквивалентного выработанного продольного профиля /считая его недеформирующимся/ и следует рассчитать кривую свободной поверхности воды при паводочных горизонтах.

Из уравнения деформации можно показать, что вклад каждого расхода воды в русловые деформации при прочих равных условиях прямо пропорционален расходу руслообразующих наносов и повторяемости данного расхода воды за рассматриваемый период времени. Это же положение лежит в основе метода определения руслоформирующего расхода Н.И. Маккавеева /1955/.

Тогда для определения эквивалентного выработанного продольного профиля дна нужно в каждом j -том створе усреднить с весом отметки дна $Z_{ij\text{дно}}$ выработанных профилей, вычисленных для частных расходов воды Q_i . Весовой функцией будет выступать кривая руслоформирующих расходов, т.е. зависимость между расходом воды Q_i и произведением расхода наносов R_i соответствующего данному расходу воды на повторяемость этого расхода P_i . Для створа нижнего бьефа Каргалинского гидроузла эта функция приведена на рис. 4.

Отметки дна эквивалентного выработанного продольного профиля с местным базисом эрозии на 90 км с отметкой порога - 27,5 м, вычисленные по формуле

$$Z_{j\text{эк}} = \frac{\sum Z_{ij\text{дно}} \cdot R_i \cdot P_i}{\sum R_i \cdot P_i} \quad /8/$$

приведены в табл.1. Здесь же указаны отметки свободной поверхности воды при расходе $1000 \text{ м}^3/\text{с}$, полученные по фор-

Стметки дна и водной поверхности Терека при
расходе воды 1000 м³/с и отметки эквивалентного про-
дольного профиля

Таблица 1

№ попе- речников СКГВХ	Расстоя- ния в км от Карг.	Продольный профиль		Эквивалентный продольный профиль		Стметка рас- четного фактис- четного дна, м	Стметка : расчетного фактис- четного дна, м	Стметка : Стметка рас- четного дамо, м
		Стметки дна, м	Стметки уреза, м	Стметка дна, м	Стметка уреза, м			
1	0,6	-1,80	2,55	-1,20	-1,45	2,70		4,70
3	6,12	-5,25	0,95	-2,65	-2,78	1,40		2,20
5	9,97	-5,02	-0,55	-4,55	-4,44	0,85		0,60
7а	15,59	-7,20	11,80	-6,00	-6,75	-0,30		-0,70
10	18,06	-7,00	-2,80	-6,70	-7,70	-2,40		-1,80
13	25,06	-8,70	-4,70	-8,70	-8,82	-4,80		-4,40
15	50,50	-10,10	-6,50	-9,90	-11,01	-5,50		-6,10
17	54,47	-11,20	-7,55	-11,10	-13,06	-7,00		-7,80
19	59,10	-13,80	-8,95	-12,75	-14,09	-8,05		-8,90
25	61,50	-16,80	-12,20	-13,20	-17,88	-11,20		-12,40
27	55,77	-19,60	-13,40	-18,35	-	-12,50		-
30	62,01	-20,70	-15,10	-19,80	-20,30	-14,10		-15,60
35	75,90	-24,00	-18,15	-23,20	-23,64	-16,55		-18,70
39	84,25	-26,40	-20,30	-25,90	-26,04	-20,05		-20,22
40	90,23	-28,75	-21,90	-27,55	-27,35	-21,05		-22,75

муле /7/, исходя из предположения, что эквивалентный выработанный продольный профиль не деформируется при прохождении паводочного расхода. Сравнение отметок свободной поверхности в табл. 1 показывает, что поверхность воды при прохождении паводка над недеформируемым эквивалентным дном располагается выше водной поверхности, формируемой паводком с выработанным этим паводком продольным профилем дна. Так как русловые вертикальные переформирования при прохождении паводка по нижнему Тереку приводят к некоторому понижению отметок дна, фактическое положение свободной поверхности воды в паводок будет занимать промежуточную позицию между отметками в табл. 1. Тем не менее в дальнейших рассуждениях будем пользоваться только отметками дна и свободной поверхности, полученных при расчетах эквивалентного продольного профиля.

Сравнение расчетных отметок выработанного эквивалентного продольного профиля дна и фактически осредненных по ширине реки отметок дна, полученных при промерных работах Севкавгипроводхоза в 1979-80 гг /табл.1/, показывает, что на верхнем и нижнем участках русла р.Терек ниже Каргалинского гидроузла фактическое положение дна практически совпадает с расчетным. В средней части рассматриваемого участка измеренные отметки дна русла реки расположены ниже расчетных. Указанное расхождение, видимо, связано с тем, что промерные поперечники 30-50 км расположены в основном в плесовых ложинах, в то время как расчет дает среднюю глубину на плес-перекатном участке. Поэтому есть все основания полагать,

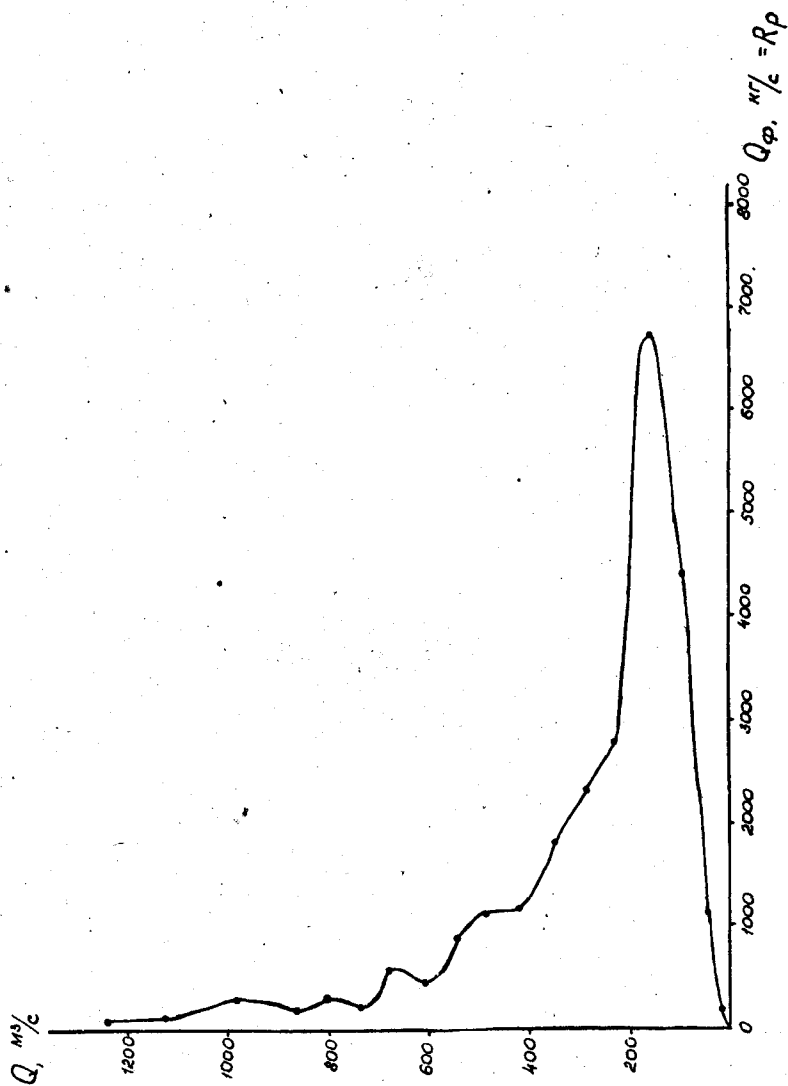


Рис. 4. Кривая руслоформирующего расхода для гидроствора нижний бьеф Каргалинского гидроузла

что фактическое положение дна в низовьях Терека в настоящее время уже соответствует выработанному эквивалентному продольному профилю с местным базисом эрозии на 90 км с отметкой порога - 27,5 м.

Однако современное состояние противопаводочного обвалования в низовьях Терека представляется совершенно недостаточным в свете расчетных данных табл.1. Современные противопаводочные дамбы смогут удержать расход в $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ лишь при условии значительных вертикальных русловых деформаций и формирования выработанного этим расходом продольного профиля /отметки которого даны в табл.1/, да и то только выше 60 км. В том же случае, если глубинная эрозия не будет поспевать за ростом уровней воды /тот вариант, который и следует рассматривать/, практически на всем протяжении русла Терека ниже Каргалинского гидроузла, /кроме верхних 10 км/ вероятны переливы паводочных вод через дамбы обвалования. Эта вероятность максимальна на отрезке русла между 30 и 80 км.

Для выправления сложившегося в низовьях Терека положения могут быть рекомендованы следующие мероприятия

1. Ускорить размыв верхнего порога на 90 км путем искусственного сужения русла реки на участке 88-90 км до ширины 60-80 м. После ликвидации верхнего порога произойдет посадка уровней воды на величину около 1 метра на всем протяжении реки выше 90 км. Тогда для противопаводочной защиты территории выше 50 км потребуются лишь незначительное увеличение высоты современных дамб.

2. Провести дноуглубительные работы в русле на участке 90-96 км до отметок -32,0 м с целью ликвидации нижнего порога, препятствующего дальнейшей эрозии дна реки. В первое время эффективность этой меры будет достаточно велика - волна эрозии дна пройдет вверх по реке по крайней мере до 82 км, где расположен под тонким слоем аллювия еще один выступ озерных глин. Ориентировочно, посадка уровня воды составит еще два метра на этом участке. Однако, по мере выдвижения в море новой дельты Терека будут повышаться отметки уровня воды в современной устьевой части прорези через Аграханский полуостров. Расчеты, проведенные по изложенной выше методике с учетом неравномерности движения воды на воронкообразном устьевом участке реки /эти расчеты многоварианты, так как на величину подпора будет влиять и прогнозный уровень Каспия, и величина расхода воды, проходящего в новой дельте в пределах бровок русла/ показывают, что при выдвижении новой дельты в море на 5 км /предельная длина/, при уровне Каспийского моря -29,0 м, при прохождении в бровках русла расхода воды $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ величина подпора будет примерно такой же, что создает нижний порог на 92 км. Без ликвидации этого порога будет происходить аккумуляция наносов, а результате отметки дна сравняются с современными. Поэтому следует продолжать обвалование нижнего Терека на участке 60-101 км дамбами полного профиля с отметками поверхности не ниже уровней воды, приведенных в табл. 1.

Литература

1. Гришанин К. В. Динамика русловых потоков. Л. Гидрометеоздат, 1979.
2. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. Изд-во АН СССР, 1985.

3. Мирцхулава Д.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М., "Голос", 1970.
4. Полонский В.Ф. Формирование устьевых баров и методы расчета их характеристик. "Труды ГОИИ", 1978, вып.142.
5. Россинский А.И., Кузьмин И.А. Балансовый метод расчета деформаций дна потока. "Труды Гидропроекта", 1964, сб.12.