

УДК 004.942:627.5

**БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА РЕКЕ ПСОУ****Сафронова Т.И., Приходько И.А.***ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар,  
e-mail: mail@kubsau.ru*

Размыв речных берегов водными потоками происходит в результате взаимодействия речного потока и постоянных деформаций русла. Река Псоу протекает в Адлерском районе города Сочи и является государственной границей Российской Федерации. Правый берег реки в настоящее время интенсивно размывается (до 5 м в год). Рассматриваемые участки берега подвергаются активным эрозионным процессам со стороны реки. В результате водной эрозии происходит деформация берегов рек и потеря значительных площадей земельных угодий. Для предотвращения разрушения необходимо строительство берегоукрепительных сооружений. При выборе оптимального проектного решения противоэрозионного берегоукрепительного сооружения необходимо учитывать гидрологические факторы и морфологию реки. В работе рассмотрена модель распределения водного потока и по результатам обследования и расчетов рекомендовано возвести струенаправляющую проницаемую дамбу и берегоукрепительную габионную стенку. Струенаправляющая дамба устанавливается в верховой части защищаемого участка с целью отжима паводкового потока от правого берега, подвергающегося в настоящее время воздействию течений с большими скоростями, что создает угрозу разрушения вдоль берегового укрепления. Конструктивно дамба представляет собой проницаемое сооружение из шести ярусов бетонных массивов, укладываемых на подготовленное основание. Головная часть дамбы укрепляется 16 массивами по 11,8 т. Длина дамбы составляет 60 м, ширина в основании – 10 м.

**Ключевые слова:** берегоукрепление, дамба, река, паводок, габионная стенка, математическая модель

**SHORE PROTECTION ON THE PSOU RIVER****Safronova T.I., Prikhodko I.A.***Federal State-funded Educational Institution of Higher Professional Education  
«Kuban State Agrarian University», Krasnodar, e-mail: mail@kubsau.ru*

The erosion river-bank by stream water results from interaction of a river stream and continuous deformations of the course. The Psou River flows in Adlersky District of Sochi and is frontier of the Russian Federation. The right river bank is intensively washed away now (up to 5 meters a year). The considered sites of the coast are exposed to active erosive processes from the river. The water erosion is resulted by deformation of coast of the rivers and loss of significant areas of agriculturally used areas. Prevention of destruction requires construction of coast-protecting structure. At the choice of the optimal design solution of an antierosion coast-protecting structure it is necessary to consider hydrological factors and morphology of the river. In work the model of distribution of a water stream is considered and by results of inspection and calculations it is recommended to stream to build the afflux permeable bank and a coast-protecting gabionny meshy. The afflux permeable bank is established in a riding part of the protected site for the purpose of a flow deflection of a flood stream from the right coast, which is affected now by currents with big speeds, which create threat of destruction along coastal fortification. Structurally the dam represents a permeable construction from six tiers of the concrete massifs stacked on the prepared basis. Head part of a dam strengthen sixteen concrete massifs on 11,8 t everyone. Length of a dam is 60 m, dam width in the basis – 10 m.

**Keywords:** bank protection, dam, river, flash runoff, gabion meshy product, mathematical model

Река Псоу протекает в Адлерском районе города Сочи. Является южной границей Большого Сочи и государственной границей Российской Федерации. Правый берег реки в настоящее время интенсивно размывается (до 5 м в год), вследствие чего исчезают находящиеся в федеральной собственности земли, а также гибнет лесная растительность, расположенная на них. Рассматриваемые участки берега подвергаются активным эрозионным процессам со стороны реки. Потому береговой склон участков имеет характерные очертания. Следовательно, в этом месте необходимо предусмотреть проведение берегоукрепительных мероприятий, обеспечивающих защиту от размыва береговой полосы. Неоднократно осуществлялись попытки берегоукрепления «кустарным способом», которые ощутимых результатов не

дали. При этом значительная часть берегового откоса захламлена различного рода строительным мусором.

Негативное влияние на состояние берегов могут оказывать самые различные факторы – ливневые потоки или грунтовые воды, волнения на водной поверхности, течения. Размыв береговой полосы приводит к отрицательным последствиям – материальным ущербам, уничтожению береговой растительности. Сведения по участкам рек, подверженным разрушению, представлены в таблице [1].

Все вышеизложенное указывает на необходимость организации и проведения эффективных природоохранных и берегозащитных мероприятий. Чтобы предотвратить эрозию, постепенный размыв берега, исключить возможность его обрушения, необходимы инженерно-технические решения.

Характеристика участков рек, подверженных разрушению

№ п/п	Водный объект	Протяженность участков, км	Интенсивность разрушения берега, м/год	Объекты промышленного, социального, транспортного и коммунального сектора, расположенные в зоне разрушения берега
1	р. Мзымта	1,5	1,5	участок питьевого водопровода
2	р. Псоу	1,2	6,5	садовые участки

Берегозащитные сооружения предназначены для защиты береговой полосы от агрессивного воздействия течения. Выполненный обзор литературы показал, что существующие на сегодняшний день специальные конструкции, в своем большинстве трудоемки, как правило, не экономичны и на их изготовление и монтаж требуется большое количество времени и затрат. Следовательно, проблема разработки новых и эффективных берегозащитных конструкций является актуальной и требует дальнейшего изучения [2].

Для защиты берегов р. Псоу от размывов необходимо принятие комплекса технических решений. Цель исследования – выбор и обоснование выбора берегозащитного мероприятия для рассматриваемого участка реки. Следствием будет предотвращение размыва береговой полосы и предотвращение исчезновения находящейся в федеральной собственности земли, а также гибели растительности, расположенной на них.

Цель исследования – составление модели распределения водного потока реки по длине для выбора и обоснования берегоукрепительных мероприятий.

#### Материалы и методы исследования

Территориально исток р. Псоу расположен в 4,5 км от горы Агепста и начинается с южных склонов Турьих гор, устье – в 8 км к юго-востоку от Адлера. Впадает в Черное море.

Река Псоу в верховьях бассейна имеет характер горной реки с быстрым течением, живописной долиной и чистой водой. Притоки реки представляют собой изрезанные долины с крутыми склонами. Тип питания реки – смешанный: весной – ледниковый, летом, осенью и в начале зимы – дождевой. В межень (август – октябрь, ноябрь – март) – подземное питание. Водный режим реки – паводочный. Пик паводков приходится на май. Склоны долины непроходимые, скальные, обрывистые.

Склоны долины, ограничивающие долину, представляют собой пересеченные и густо поросшие лиственным лесом и кустарником хребты.

Ограничивающие долину хребты, пересеченные и густо поросшие лиственным

лесом и кустарником, являются собственно склонами долины. На реке Безымянка (в 4 км вверх по течению от села Аибга) находится самый высокий водопад в Краснодарском крае, высота трех каскадов 75 м, находится на реке Безымянка, в 4 км вверх по течению от с. Аибга. Ложе реки валунно-галечное, деформирующееся.

Уклоны русла р. Псоу и её притоков изменяются в верховье от 0,699 до 0,074, в среднем течении от 0,04 до 0,02, в нижнем течении от 0,02 до 0,005 [3].

В равнинной части долины реки – нижняя пойма, первые надпойменные террасы сложены делювиальными отложениями, аллювиально-делювиальными и аллювиальными. Отложения преимущественно представлены песчано-глинистым заполнителем, галечником с валунами и гравийно-галечными грунтами.

По петрографическому составу обломочный материал долины и террас представлен алевролитами, мергелями, песчаниками, известняками. В русле продолжается процесс аккумуляции и транзита наносов, а также переуглубления.

На всем протяжении склоны долины реки Псоу рассечены долинами небольших притоков или временных водотоков, а также глубокими балками, которые действуют во время дождевых паводков. Факторами образования осыпей являются тектоническая трещиноватость, количество осадков, а также продукты процессов выветривания, которые во время дождевых паводков пополняют конуса выносов в главное русло реки Псоу и способствуют накоплению обломочного материала в русле реки.

В результате размыва, а также смыва берегов и русла обломочного материала, почвы с водосборной площади образуются твердый сток. Во время паводков и дождевых паводков проходит большая часть стока твердых наносов. Сильная боковая и донная эрозия наблюдается на отдельных участках в русле реки при прохождении дождевых паводков.

Согласно результатам работы [3] среднегодовой сток:

- взвешенных наносов – 154,4 тыс. т;
- влекомых наносов – 62,4 тыс. т.

В гранулометрическом составе преобладают фракции:

– 0,1–0,01 м (60 %) во взвешенных наносах;

– от 50 до 100 мм (60 %) в донных наносах;

– более 100 мм (40 %) в донных отложениях.

Средний диаметр донных отложений 80 мм.

В нижнем течении р. Псоу (участок протяженностью 3–5 км) продолжается процесс накопления аллювиальных отложений. Переформирование донных отложений происходит каждый раз при прохождении дождевых паводков.

По типу руслового процесса река Псоу относится к побочному и осередковому типу, который широко распространен на прямолинейных и слабоизвилистых участках рек горно-предгорных зонах.

В период паводков побочни и осередки покрываются водой и русло приобретает прямолинейный вид.

Одной из серьезных причин разрушения берегов является усиление эрозионных процессов. Для охраны горных и предгорных ландшафтов необходимо управление твердым стоком.

При составлении математической модели уровня режима и течений при расчетных паводках нами использована система дифференциальных уравнений, описывающих неустановившееся течение в русле.

Систему дифференциальных уравнений, описывающих неустановившееся течение в русле в рамках одномерной модели, записываем в виде [4]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{\omega} \right) + g\omega \frac{\partial z}{\partial x} = -g\omega \frac{Q|Q|}{K^2}, \quad (2)$$

где  $t$  – время;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\omega$  – площадь живого сечения;

$Q$  – расход;

$K$  – модуль расхода.

Задаем начальный расход  $Q_0$  и уровень свободной поверхности  $Z_0$  в расчетной области в начальный момент времени.

В качестве граничных условий на входном створе задаем гидрограф  $Q = f(t)$ , а в замыкающем – ход уровней воды  $Z = f(t)$

$Z$  – отметка свободной поверхности относительно базового уровня.

Были определены входящие в уравнения (1) и (2) гидравлико-морфометрические и гидравлические характеристики русла – площадь живого сечения  $\omega$ , модуль расхода  $Q$ .

Площадь живого сечения потока в узлах расчетной сетки в зависимости от уровня сво-

бодной поверхности  $Z$  определяли по данным инженерно-геодезических изысканий [3].

Гидравлический коэффициент трения  $n$  (функционально-зависимый параметр) определяли обратным путем с использованием данных натурных наблюдений с гидравлических постов.

Гидравлический радиус определялся по формуле  $R = \frac{\omega}{\chi}$ , где  $\chi$  – смоченный периметр русла, который, как и  $\omega$ , принимался по данным изысканий [3]. Коэффициент Шези определяли из формулы расхода воды  $Q = \omega C \sqrt{Ri}$ , где  $\omega$  – площадь живого сечения,  $i$  – уклон русла [5].

Гидравлические характеристики рассматриваемого русла определяли с помощью коэффициента Шези. Для определения коэффициента Шези существует большое количество методов и формул, полученных разными авторами в лабораторных и натурных условиях. Приводим анализ формул, полученных для объектов и гидравлических условий, наиболее приближенных к условиям исследуемого участка реки.

Формула Л.А. Морозова получена на основе обработки большого массива данных (1140 измерений расходов воды). Измерения выполнялись на прямолинейных участках горно-предгорных рек Кавказа и Средней Азии при расходах воды 2,32–680 м³/с и уклонах дна 0,001–0,015. В исследованиях Морозова при анализе кривых  $C = F(Q)$  были обнаружены две области сопротивлений – с возрастанием  $C$  до определенного значения  $Q_{кр}$  и с убыванием  $C$  при дальнейшем возрастании  $Q$ .

Появление  $Q_{кр}$  на кривых  $C = F(Q)$  Морозов связывает с моментом начала движения донных отложений.

Существование экстремума на кривых  $C = F(Q)$  для рек Черноморского побережья Кавказа позднее подтвердил В.В. Ромашин [3] в результате подробных исследований руслового и гидравлического режимов рек указанного региона.

Используя формулы для коэффициента Шези при разных уровнях наполнения русла (глубине потока), была рассчитана скорость потока, а затем расходы воды (пропускная способность русла) при постоянном уклоне 0,013 и ширине канализованного русла 40,0 м. В результате получены расчетные значения гидравлических характеристик в рассматриваемом русле.

Расчеты выполнены численно по неявной конечно-разностной схеме с итерациями по нелинейности. Шаг по координате  $X$  принят равным 4 м. Длина участка реки равнялась 1,1 км. Требуемый расход воды

в русле для паводков заданной обеспеченности подбирались методом последовательных приближений, варьируя отметки уровня свободной поверхности в граничных створах.

### Результаты исследования и их обсуждение

#### *Рекомендации по конструкции и плановому положению струенаправляющей дамбы*

Струенаправляющая дамба устанавливается в верховой части защищаемого участка с целью отжима паводкового потока от правого берега, подвергающегося в настоящее время воздействию течений с большими скоростями, что создает угрозу разрушения вдоль берегового укрепления, размыва территории воинской части и вывода из строя дорогостоящего оборудования [6].

Конструктивно дамба представляет собой пронизываемое сооружение из шести ярусов бетонных массивов ( $1 \times 1 \times 1$  м), укладываемых на подготовленное основание. Головная часть дамбы укрепляется 16 массивами по 11,8 т. Длина дамбы составляет 60 м, ширина в основании – 10 м [7].

В соответствии с результатами расчета дамба вышеописанной конструкции эффективно защищает наиболее уязвимый участок берега на длине не менее 250 м.

Дамбы рассматриваемой конструкции эффективно защищают правый берег реки Мзымта на участках, расположенных в районе села Верхневысокое и в пределах рекреационного объекта «Ноев ковчег». Вышеперечисленные дамбы были построены в 2005 и 2010 гг. соответственно. Данные сооружения выдержали несколько мощных паводков и показали высокую функциональную эффективность [8].

На участках берегоукрепительных работ р. Псоу принято использование габионных конструкций [9]. Эти конструкции заполняются камнем на строительной площадке. Уложенные габионы не имеют гидростатического давления и хорошо проницаемы для грунтовой воды.

### Заключение

В статье рассмотрена проблема размыва и разрушения береговых уступов и русла реки Псоу в результате эрозионных процессов во время прохождения паводков и половодий. Крутые участки берега, незащищенные растительностью, наиболее подвержены процессам размыва.

Защита левого берега р. Псоу от размыва требует принятия комплекса взаимодополняющих технических решений.

Проектные решения на рассматриваемом участке р. Протока направлены на достижение максимального эффекта защиты левого берега за счет направления энергии потока в комплексе с работой берегоукрепительных сооружений.

Река Псоу берет начало из родника на высоте 2260 м БС. Длина реки 53 км, средний уклон реки 47,5%. Площадь водосбора 431 км<sup>2</sup>. Средняя высота водосбора 1100 м. Средневзвешенный уклон водосбора 336%, густота речной сети 1,04 км/км<sup>2</sup>, озерность 0,01%, лесистость 60%.

Псоу – типичная горная река с быстрым течением, чистой водой и живописной долиной. В верховьях бассейн реки носит горный характер, а ее притоки образуют изрезанные долины с крутыми склонами. Первые 28 км она течет в узкой долине с крутыми склонами высотой местами до 100 м. Ниже впадения в неё притока Арк-ва Псоу круто поворачивает на юго-запад и, прорезав хребет, составленный отрогами гор Ах-хач и Дзыхра, течет к морю уже по широкой долине. Нижняя часть бассейна на протяжении последних 15 км представляет собой холмистую местность. Река последовательно прорезает вулканогенные породы. В низовьях река имеет широкую галечниковую пойму и делится на рукава.

По результатам расчетов получено, что при паводке 1% обеспеченности скорость течения в русле в среднем составит около 3 м/с, а на некоторых участках более 4 м/с. Повышение уровня воды над меженным уровнем будет 2–3 м.

При паводке 10% обеспеченность скорости течения может достигать 3,5 м/с, а повышение уровня воды – до 2–2,5 м.

На участке, расположенном вверху воинской части, рекомендуется возвести струенаправляющую пронизываемую дамбу. Конструктивно дамбу выполнить из шести ярусов бетонных массивов ( $1 \times 1 \times 1$  м), укладываемых на подготовленное основание. Головная часть дамбы укрепляется шестнадцатью массивами по 11,8 т. Длина дамбы составляет 60 м, ширина в основании – 10 м.

Угол между осью дамбы и линией берега принят равным 25°.

В результате расчетов установлено, что строительство струенаправляющей дамбы и берегоукрепительной габионной стенки приведет к незначительному повышению (на 1–3 см) уровней воды при паводках редкой повторяемости. Однако это повышение будет компенсировано понижением уровней после углубления русла в процессе срезки побочной.

В целом реализация берегозащитных мероприятий практически никакого влия-

ния на расчетные уровни воды не окажет. Следовательно, не будет и негативного влияния берегоукрепительных сооружений на устойчивость левого берега р. Псоу, являющегося территорией соседнего государства.

#### Список литературы

1. Сафронова Т.И. Оценка степени влияния контролируемого фактора // Практико-ориентированное обучение: опыт и современные тенденции. Сборник статей по материалам учебно-методической конференции. 2017. С. 98–99.
2. Сафронова Т.И., Соколова И.В. Вероятностная модель процесса снижения цены намечаемого мероприятия. Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 324–334.
3. Отчет «Инженерно-гидрометеорологические изыскания р. Псоу» – ООО «Гидротехника». Сочи, 2012. С. 267–280.
4. Сафронова Т.И., Приходько И.А. Оценка мелиоративного состояния рисовой оросительной системы по интегральному показателю // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 3. С. 42–43.
5. Емузова Л.З. Развитие разрушительных процессов в берегоукреплениях реки Нальчик // Новые технологии в науке о Земле: материалы всероссийской научно-практической конференции. Нальчик: 2013. С. 257–263.
6. Владимиров С.А., Гронь Е.И. Алгоритм реконструкции и проектирования ландшафтно-мелиоративных систем нового поколения // Труды Куб ГАУ. 2009. № 4 (19). С. 209–215.
7. Новиков В.Ю. Особенности строительства берегозащитных сооружений // Экономика строительства. 2012. № 1 (13). С. 61–68.
8. Технический отчет об инженерно-геодезических изысканиях – ООО «Гидротехника». Сочи, 2012. С. 113–125.
9. Отчет «Инженерно-гидрометеорологические изыскания р. Псоу» – ООО «Гидротехника», Сочи 2012. С. 301–307.