



ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.064: 556.53

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РУСЕЛ РЕК, КАНАЛОВ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ ЮГА РОССИИ

© 2008. Курбанов С.О., Созаев А.А.

Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия

В статье сделан обзор современного состояния зарегулированных русел и прибрежных зон на Юге России. Дан анализ экологических проблем речных бассейнов, связанных с хозяйственной деятельностью человека и прибрежной инфраструктурой. Предложены эффективные способы регулирования русел и критерии по повышению биопозитивности и надежности защитно-регуляционных сооружений.

In clause the review of a modern status of the regulated rivers and coastal zones in the south of Russia is made. The analysis of environmental problems of the river pools connected to economic activities of the person and a coastal infrastructure is given. Effective ways of regulation русел and criteria on increase of biopositivity and reliability protectively-regulated constructions are offered.

Проблемы регулирования русел являются актуальными для нашей страны. Особенно остро стоят эти проблемы на Юге России, где основная инфраструктура региона сосредоточена в прибрежных зонах рек. Общая протяженность паводка опасных участков рек достигает до 2 тыс. км. Более половины названных участков остаются не зарегулированными по настоящее время. Ежегодно приносимый ущерб от паводков рек на этих участках достигает до миллиарда рублей и более. В 2005 г. этот ущерб только по Северному Кавказу составил около 2 млрд. рублей. А на зарегулированных участках рек с учетом экологических требований затраты на противопаводковые и берегоукрепительные мероприятия снижаются на порядок.

Основной задачей, решаемой при регулировании русла, является изменения естественного режима рек с помощью инженерных мероприятий, чтобы в результате образовалось устойчивое русло, желательной формы и размеров [1, 2, 3, 4]. Насчет выбора формы и размеров поперечного сечения регулируемого русла, в существующей научно-технической литературе нет конкретных рекомендаций. Там больше внимание уделено на выбор трассы и местоположения зарегулированного русла. Кроме того, имеющиеся там методики расчета русел не позволяют подобрать наивыгоднейшие их сечения (экологически, гидравлически и экономически оптимальные). По результатам ранее проведенных авторами исследований и технико-экономических расчетов были получены оптимальные наивыгоднейшие сечения зарегулированных русел, а также методику их расчета [11]. При зарегулированном русле с наивыгоднейшим сечением основные гидродинамические нагрузки паводкового потока, относительно равномерно распределяются по всему сечению. Уменьшается интенсивность турбулентности потока и наблюдается при этом более установившееся движение воды. Вместе с тем срабатывается и саморегулирующий природный механизм, который обеспечивает формирование русла статического и динамического равновесия. Как известно,



устойчивое русло характеризуется статическим и динамическим равновесием, способствующим к стабилизации экосистемы реки [1, 4, 5, 6].

Особенностью русел статического и динамического равновесия является сохранение ими заданной плановой прямолинейной устойчивости, что очень важно при строительстве больших каналов и зарегулированных русел. При этом русла динамического равновесия существуют только в определенном диапазоне изменения нагрузок потока наносами, границы которого определяются соответствующим нижним и верхним критериями. Нижний критерий отделяет русло статического равновесия от динамического, а верхний, ограничивает существование русел динамического равновесия.

Исследованиями многих авторов установлено, что наиболее устойчивой формой поперечного сечения русел статического и динамического равновесия является криволинейная форма (в виде параболы, эллипса или сегмента) [5, 6]. По результатам аналитических исследований нами ранее были получены оптимальные наивыгоднейшие полигональные сечения русел, которые легко описывают устойчивые криволинейные формы и лежат близко к ним [8, 9]. Однако на практике более широкое применение получили русла трапецеидального и прямоугольного сечения, хотя гидравлическая эффективность и надежность функционирования у них очень низка. А каналы и русла полигонального сечения очень редко проектируют, по настоящее время не имеются научно обоснованных технических условий и методик их проектирования.

Анализ результатов натурных и экспериментальных исследований показывает, что форма поперечного сечения русла существенно влияет на гидравлическую и гидродинамическую структуру потока. От правильного подбора элементов поперечного сечения и оценки гидравлических потерь по длине русла при равномерном движении потока зависит точность всего расчета канала при его проектировании. Известно, что при гидравлически наивыгоднейших параметрах сечений русел возникают наиболее благоприятные условия протекания воды и снижается интенсивность турбулентности потока. При этом обеспечиваются наибольшая пропускная и транспортирующая способности потока.

При регулировании русел в обязательном порядке должны быть соблюдены не только гидравлические условия протекания воды, но и экологические. Экосистема реки не должна быть нарушена, зоны миграции и нереста рыб должны быть сохранены, водоохранные зоны рек (пойма, прибрежные участки) должны находиться в чистоте, и покрыты зеленой растительностью. Техногенное влияние объектов прибрежной инфраструктуры должно быть исключено. Водоохранные зоны необходимо держать под особым контролем, должны быть разработаны специальные мероприятия по их защите и содержанию в чистоте.

При регулировании русел по известным и принятым на практике методикам очень сложно соблюсти экологические требования [1, 2, 3, 4]. Определяемая при этом устойчивая ширина не является экологически устойчивой. Нарушаются зоны миграции и нереста рыб, уменьшаются зеленые водоохранные площади, разрушаются связи реки с прибрежными территориями. На зарегулированных участках рек нарушается естественный режим реки и ее экосистемы. Примеров таких участков можно привести много: р. Терек во многих участках (с ее притоками р. Баксан, Черек, Нальчик, Сунжа и др.), р. Самур, Сулак и др. Конечно, очень сложно регулировать русла с соблюдением экологических требований на урбанизированных участках рек с застроенными прибрежными зонами. А практика показывает, что и на свободных территориях также осуществляют техническое регулирование без учета экологических требований. Наглядным примером является устьевой участок р. Терек ниже Каргалинского гидроузла. Здесь «большая» р. Терек загнана в «зарегулированное» русло (в виде канала) средней шириной 300-500 м; а в районе мостов эта ширина составляет всего 200 м. На этих узких участках рек браконьеры установили пороги и ловушки для рыб. В результате всего этого возникли серьезные экологические проблемы для уникального Каспийского водоема (море-озеро). Так как наиболее ценные рыбы (осетровые и другие) поднимаются на нерест по пресным протокам рек Терек, Сулак, Самур и др., а эти протоки оказались закрытыми (до 85%), площади нереста также резко уменьшились. В итоге по разным оценкам за последние 50 лет запасы ценных рыб на Каспии и в бассейнах этих рек уменьшились на порядок (более 10 раз).



В естественных условиях р. Терек в концевой ее части разливалась на множество протоков с шириной от 3 до 7 км, максимальная ширина дельты реки составляла 15 км в районе Каспия. Неоправданное ничем сужение русла в дельтовой части р. Терек принес огромный вред фауне и флоре прибрежных и пойменных территорий... По техническим условиям устойчивая ширина русла реки на данном участке составляет 900 м, а по экологическим требованиям эта ширина должна быть не менее 1,5-2,0 км. Следующим примером негативного регулирования русла является р. Самур, протекающая по границе Республики Дагестан с Азербайджанской республикой. Здесь ситуация еще хуже, экосистема реки полностью нарушена из-за бесконтрольного забора воды Азербайджанской стороной. В летний меженный период с помощью напорного водозаборного гидроузла (расположенного на горном участке реки) полностью забирается вода из реки, нарушая все санитарные нормы, оговоренные в межгосударственных соглашениях по водопользованию из приграничной реки Самур между РД и АР. В результате этого река полностью высыхает в течение наиболее жаркого меженного периода в июле-августе месяцев. Таким образом, полностью нарушена экосистема реки Самур, для ее восстановления потребуется ни один десяток лет. И на р. Сулак имеются проблемы из-за строительства каскада гидроэлектростанций, нарушающих гидрологический режим реки.

Дополнительно ко всем этим проблемам хозяйственная деятельность человека и объекты прибрежной инфраструктуры также оказывают существенное (в основном негативное) влияние на режим рек, качество воды, на состояние прибрежных и пойменных водоохранных зон; в целом – на экосистему рек. По данным Министерства природных ресурсов РФ, р. Терек попала в десятку самых грязных рек России [22]. Основными источниками загрязнений являются промышленные и сельскохозяйственные предприятия и бытовые стоки населенных пунктов, среди которых Тын-яузский горно-обогаительный комбинат (по переработке вольфрама и молибдена), расположенный в ущелье реки Баксан, который занимает первое место по техногенному влиянию на экологическое состояние рек и биоресурсы водных артерий [21]. Для хранения отходов комбината был построен каскад открытых хвостохранилищ, которые стали источниками загрязнения рек. Жидкие и твердые отходы (хвосты), где содержатся не только вольфрам и молибден, но и другие тяжелые металлы (свинец, ртуть, мышьяк и др.), ПДК которых превышает от 10 до 100 раз, свободно попадают в реку. Их следы достигают до акватории Каспия. Вторым наиболее опасным для р. Терек объектом является Владикавказский аккумуляторный завод, который также способствует химическому загрязнению реки. Следующие объекты негативного влияния – это химкомбинаты, нефтяные базы, автотранспортные и сельскохозяйственные предприятия, коммунальные хозяйства и др., расположенные на прибрежных территориях. Все это приводит к физическому, химическому и биологическому загрязнению водных и биологических ресурсов рек.

Водохозяйственные мероприятия, проводимые на реках, к сожалению, не улучшают их экологическое состояние. Наоборот, все эти мероприятия, проведенные за последние 50 лет, привели к нарушению экосистем рек и их гидрологических режимов. На реках Терек, Сулак, Самур и их притоках построены десятки напорных гидроузлов, перекрывающие пути свободной миграции рыб и частично нарушающие естественный режим рек. А зарегулированные участки рек привели к серьезному нарушению естественных условий взаимодействия реки с прилегающими прибрежными территориями и уникальной фауной Каспия.

В целом на Юге России, вследствие негативного влияния прибрежной инфраструктуры, неэффективного регулирования русел и водохозяйственного строительства нарушена экосистема рек. Для ее оздоровления и восстановления требуется специальная программа по внедрению природоохранных способов регулирования русел, биопозитивных конструкций и технологий возведения водохозяйственных объектов, а также организационно-контрольных мероприятий.

Нами разработаны эффективные методы регулирования русел и прибрежных зон с помощью коротких полузапруд-отбоек, устраиваемых в основании (по линии донных откосов) оптимального полигонального сечения, и – гибких откосных креплений комбинированных конструкций. На уровне изобретений разработан ряд биопозитивных конструкций полузапруд отбоек, береговых и откосных креплений, и технологий их строительства [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Многие из них прошли экспериментальные исследования на многих участках рек, где они показали себя эф-



фективными и надежными. Они обеспечивают не только инженерную защиту территорий, но и восстановление природной среды в прибрежных местах их строительства. Эти конструкции гибки и благоприятно влияют на естественную турбулентную структуру потока.

Изучением турбулентной структуры потока занимались многие авторы. Теория турбулентности потока базируется, как известно, на представлении о том, что энергия осредненного движения передается по каскаду частот, сначала пульсациями низких частот, а от них переходит ко все более и более высоким частотам, до тех пор пока размеры этих возмущений (вихрей) будут настолько малы, что их энергия уже гасится и переходит в тепло. Наличие в потоке высокочастотных и низкочастотных вихрей создает сложную структуру турбулентности движения равномерного руслового потока. При этом основную роль в русловой турбулентности играют низкочастотные пульсации, образующие самые крупные из возможных вихрей, обладающие внешним масштабом турбулентности, соизмеримым с размерами водотока. Именно эти крупномасштабные возмущения потока участвуют в образовании той или иной плановой формы размываемого русла и его поперечного сечения определенной геометрии. Эти крупные вихри отличаются почти закономерным характером в отличие от мелкомасштабных (высокочастотных) пульсаций, возникающих от неустойчивости первых. Все это нашло подтверждение в работах Г. Тейлора, Х. Мотцфельда, и других, а в дальнейшем получила свое развитие в исследованиях М. А. Великанова, А.А. Таунсенда, С.М. Then и др. [5, 6].

Однако ни одна из существующих теоретических моделей турбулентной структуры реального руслового потока не может претендовать на свою полную и строгую законченность в силу тех допущений и недостатков, которые они содержат. По результатам многолетних исследований нам удалось найти взаимосвязи пространственной турбулентности потока с полигональной формой поперечного сечения русла. Полигональная форма поперечного сечения обеспечивает стабилизацию русловых процессов и направления динамической оси потока по центру русла. При полигональной форме получаются оптимальные гидравлические характеристики потока, способствующие статической и динамической устойчивости зарегулированного русла. На каналы и русла оптимального полигонального сечения нами получены 2 авторских свидетельства, 3 патента и 2 положительных решения ФИПС на изобретения. На полную устойчивость и надежность зарегулированного русла влияет не только форма поперечного сечения, но и конструкции крепления русла и прибрежных откосов. Полигональные русла с гибкими биопозитивными конструкциями креплений эффективно влияют и на восстановление экосистемы реки.

Теория надежности ГТС и мелиоративных систем разработана академиком Ц.Е. Мирцхулава [7]. По этой теории определены основные критерии оценки надежности и эффективности основных водохозяйственных объектов. К ним относятся вероятность безотказной работы объекта, срок службы и долговечность его, надежность по пропускной способности русла, и др. Однако для зарегулированных русел и прибрежных креплений отсутствуют конкретные рекомендации по определению их эксплуатационной надежности и экологической эффективности. На основе известной теории надежности нами уточнены и получены следующие относительно точные критерии надежности и эффективности защитно-регуляционных сооружений:

- вероятность безотказной работы по пропускной способности русла должна быть не менее 0,99;
- вероятность безотказной работы сооружений и откосных креплений – не менее 0,99, коэффициенты устойчивости $K_y > 1,15-1,2$;
- надежность по водопроницаемости, коэффициент водопроницаемости крепления прибрежных откосов должен быть больше коэффициента фильтрации подстилающих грунтов, $K_a > K_\phi$;
- надежность по фильтрационной прочности грунтов земляных сооружений и подстилающих под сооружениями и креплениями откосов: возникающие максимальные градиенты фильтрационного потока в теле земляных сооружений и под креплениями должны быть меньше допустимых критических их значений для данных грунтов, $J_{\max} < J_{\text{доп.кр.}}$;
- надежность по прочности сооружений и креплений, возникающие максимальные растягивающие напряжения (моменты) в их конструкциях должны быть меньше допустимых критических их значений по нормам для данных конструкций;



– надежность по глубине размыва, максимально возможная глубина размыва русла должна быть меньше допустимых критических значений для данных сооружений и креплений, $h_{г.мак} < h_{доп.кр.}$;

– надежность по биопозитивности конструкций, сооружения и крепления должны обеспечивать прорастание трав и кустарников, и способствовать укреплению их корневой системы;

– по обеспечению гидравлической эффективности, форма поперечного сечения русла, береговых откосов и гибкость их креплений должны способствовать к стабилизации турбулентной структуры потока, и равномерному распределению избыточной энергии потока вдоль прибрежных креплений.

Результаты мониторинга рек, полевых исследований и опыта эксплуатации зарегулированных русел позволяют сделать **следующие выводы:**

– целесообразно регулировать не все русло реки, а ее прибрежные участки по границам меандрирования русл с сохранением зон нереста и миграции рыб;

– полное регулирование русел с двухсторонними защитно-регуляционными сооружениями осуществлять только на участках проходящих через населенные пункты и в районах напорных гидроузлов, при этом значительно эффективнее использовать полигональную форму сечений русел;

– при регулировании русел необходимо использовать биопозитивные конструкции и технологии возведения защитно-регуляционных сооружений и элементов их крепления;

– все строящиеся сооружения и крепления должны быть природоподобными, восприниматься природой как родственные ей элементы, способствующие восстановлению и сохранению почвенного слоя и биоресурсов реки;

– при оценке надежности и безопасности сооружений, необходимо обеспечить, в первую очередь, экологическую безопасность и эксплуатационную надежность, в т. ч. и объектов прибрежной инфраструктуры.

Библиографический список

1. Алтунин С.Т. Регулирование русел. – М.: Сельхозиздат, 1962.
2. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям. / Под редакцией д.т.н. В.С. Лапшенкова. – М.: Агропромиздат, 1989.
3. Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения. / Под общей редакцией д.т.н., проф. В.П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983.
4. Михневич Э.И. Устойчивость русел открытых водотоков. Э. И. Минск: Ураджай, 1988.
5. Кузьминов Ю.М. Взаимосвязь турбулентной структуры потока с различными формами поперечных сечений русел в легкоподвижных грунтах // Известия вузов. Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1969, №5.
6. Магомедова А.В. Эрозионные процессы в руслах рек и каналов. – М.: Изд-во ВЗПИ, 1990.
7. Мирзехулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. – М.: Колос, 1974.
8. Авторское свидетельство №1640271. 1991. Гидротехнический канал. / Курбанов С.О., Ханов Н.В.
9. Патент № 22189420. 2002. Гидротехнический канал. /Курбанов С.О., Курбанов К.С.
10. Курбанов С/О., Ханов Н.В. К гидравлическому расчету энергетических каналов полигонального профиля. // Гидротехническое строительство, № 7, 2003.
11. Курбанов С.О., Курбанов К.С. Расчетное обоснование наивыгоднейших сечений зарегулированных русел. // Гидротехническое строительство, №1, 2007.
12. Авторское свидетельство № 1708987, Кл. Е 02 В 3/12, 1992. Устройство для крепления откосов. Курбанов С.О., Ханов Н.В.
13. Патент № 2103440, Кл. Е 02 В 3/12, 1998. Берегозащитное сооружение. / Курбанов С.О.
14. Патент № 2076168, Кл. Е 02 В 3/00, 3/12, 1997. Полузапруда и способ ее строительства. / Курбанов С.О., Тутаев А.А.
15. Патент № 2188277, Кл. Е 02 Д17/18, Е 02 В 3/12, 2002. Селепроводящий канал. / Курбанов С.О., Ламердонов З.Г., Курбанов К.С.
16. Патент № 2204649, Кл. Е 02 В 3/12, 2003 г. Берегозащитное сооружение. / Курбанов С.О.
17. Заявка на изобретение № 2005139449/03. Откосное крепление комбинированной конструкции. (Положительное решение формальной экспертизы ФИПС от 13.01.2006). Курбанов С.О. и др.
18. Заявка на изобретение № 2006111924/03. Способ возведения биопозитивного крепления. (Положительное решение формальной экспертизы ФИПС от 24.04.2006.). Курбанов С.О.
19. Румянцев И.С., Курбанов С.О. Проблемы надежности и безопасности защитно-регуляционных сооружений в условиях рек СК. // Гидротехническое строительство, № 12, 2003.
20. Курбанов С.О., Тутаев А.А., Курбанов К.С. Эффективные способы защиты прибрежных зон в период паводков. // Экология и промышленность РФ, №3, 2007.
21. Шахмурзов М.М., Курбанов С.О., Ахматов М.А. Хвостохранилище Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината – актуальная экологическая проблема



региона. // Экология и промышленность РФ, №7, 2007. 22. Природные ресурсы и окружающая среда России (Аналитический доклад). – М.: Изд-во НИИ-Природа и РЭФИИ, 2001.