УДК 631.67.03

Определение расчетных параметров границ затопления поймы реки Терек на основе инженерно-гидрологических расчетов

Шекихачев Ю.А., Кушаева Е.А., Озрокова Л.Б.

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова

Аннотация

При использовании рек и озер в качестве путей сообщения должна быть изучена форма подводного рельефа. Оросительную способность рек устанавливают по измеренным расходам воды. Основные размеры гидротехнических сооружений и размеры водопропускных сооружений на автомобильных и железных дорогах зависят от расходов воды в реке. Следовательно, при строительном проектировании берегозащитных сооружений нужны сведения о расходах, глубинах, а также соответствующих им отметках поверхности воды (уровнях).

Ключевые слова: РАСХОД, ГЛУБИНА ВОДЫ, ПЛОЩАДЬ ВОДОСБОРА, РЕКА-АНАЛОГ, КОЭФИЦИЕНТ, ПОЙМА РЕКИ

Вода – не только элемент природной среды, но и активный геологический и географический фактор: она служит носителем механической и тепловой энергии, транспортирует взвешенные и растворенные вещества, совершает работу. Вода, благодаря своей подвижности, играет важнейшую роль в обмене веществом и энергией между геосферами и различными географическими объектами.

Среди природных ресурсов вода занимает особое место. На протяжении длительной геологической истории она создала на нашей планете среду, благоприятную для возникновения всего живого, в том числе и человека. Значение гидрологии, гидрометрии и регулирования стока в комплексном использовании водных ресурсов трудно переоценить. Использованию водных ресурсов предшествует этап изучения различных характеристик потока [1-8]. Например, для определения мощности ГЭС необходимо знать, какие объемы воды проходят через поперечное сечение русла в единицу времени (расход воды) и на ка-

кую высоту вода может быть поднята в данных природных условиях.

Определение расчетных параметров границ затопления пойм рек выполнено в соответствии с СП 33–101–2003 и «Пособием по определению расчетных гидрологических характеристик» с учётом данных наблюдений гидрологических постов Росгидромета (КБ ЦГМС) на реках прилегающей территории. При определении расчетных параметров использован метод гидрологической аналогии, метод построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов.

Расчет максимального расхода воды 1% обеспеченности дождевого паводка при наличии реки-аналога в исследуемом водотоке выполнен по формуле:

$$Q_{p\%} = q_{p\%,a} \varphi_m (\delta \delta_2 / \delta_a \delta_{2a}) A, \quad (1)$$

где: $Q_{p\%}$ – максимальный расход воды дождевого паводка вероятности превышения $P\%$, м³/с; A – площадь водосбора исследуемой реки, км²; δ и δ_a , δ_2 и δ_{2a} – поправочные коэффициенты, учитывающие для исследуемой реки и реки-аналога регулирующее влияние, соответственно, озер, прудов, водохранилищ, а также болот и заболоченных земель.

При использовании формулы (1) значения коэффициентов δ_2 и δ_{2a} принимаются равными 1. Для горных рек при отсутствии озер (прудов, водохранилищ) и болот коэффициенты δ и δ_a , δ_2 и δ_{2a} равны 1; $q_{p\%,a}$ – модуль максимального расхода воды реки-аналога расчетной вероятности превышения $P\%$, м³/с·км², определяется по формуле:

$$q_{p\%,a} = \frac{Q_{p\%,a}}{A_a}, \quad (2)$$

где: $Q_{p\%,a}$ – максимальный расход воды дождевого паводка реки-аналога вероятности превышения $P\%$ м³/с; A_a – площадь водосбора реки-аналога, км²; φ_m – коэффициент, учитывающий редукцию максимального модуля стока дождевого паводка ($q_{1\%}$) с увеличением площади водосбора (A , км²) или продолжительности руслового времени добега (τ_p , мин), рассчитывают в зависимости от значения коэффициента η_ϕ , представляющего соотношение коэффициентов формы водосбора исследуемой реки и реки-аналога;

$$\eta_\phi \approx L A_a^{0,56} / L_a A^{0,56}, \quad (3)$$

где: L и L_a – гидрографическая длина водотока для исследуемой реки и реки-аналога, км; A и A_a – площадь водосбора для исследуемой реки и реки-аналога, км².

При $\eta_\phi < 1,5$ расчетное значение коэффициента φ_m определяют по формуле (4), а при $\eta_\phi > 1,5$ – по формуле (5):

$$\varphi_m = (A_a / A)^n, \quad (4)$$

$$\varphi_m = (\phi_a / \phi)^{n_1}, \quad (5)$$

где: n и n_1 – степенные коэффициенты, отражающие редукцию максимального модуля стока дождевого паводка $q_{1\%}$, соответственно, с увеличением площади водосбора A , км^2 и руслового времени добегания τ_p .

В г.п. Терек затопливается юго-западная часть города до железнодорожных путей. Координаты зоны затопления в створе: Ш $43^\circ 28' 09,64''$; Д $44^\circ 07' 45,79''$ (рис. 1).

Створ на обследуемом участке заложен с верховой стороны правобережного склона р. Терек в начале затопляемой зоны. В русле реки на данном участке имеются много островков. Вдоль правого берега сооружена насыпная дамба с ж/бетонной облицовкой. Размыв дамбы на участке заложения створа № 1 составляет почти 100%.

Рис. 1. Карта-схема территории обследования затопляемого участка в г.п. Терек

Данные по створу:

- координаты 1 точки (правый берег) – Ш 43°27'21,87" Д 44°07'29,46", 2 точки (левый берег) – Ш 43°27'15,47" Д 44°07'22,81";
- уклон – 0,74°; 0,013;
- скорость течения воды – максимальная 1,0 м/с;
- максимальная глубина воды в прибрежной правобережной зоне – 0,8 м;
- ширина русла реки – 220,5 м;
- площадь створа с превышением от уровня воды на 0,6 м (уровень правобережной террасы) – 211,1 м²;
- площадь смоченной поверхности русла при средней глубине потока 0,35 м равна 77,2 м²;
- максимальный расход воды при максимальной скорости потока 1,0 м/с будет 77,2 м³/с.

Расчет максимального расхода воды 1% обеспеченности дождевого паводка для р. Терек г.п. Терек проводится по формуле:

$$Q_{1\%} = q_{1\%,a} \varphi_m (\delta \delta_2 / \delta_a \delta_{2a}) A, \quad (6)$$

где: $Q_{1\%}$ – максимальный расход воды дождевого паводка вероятности превышения 1% , м³/с; A – площадь водосбора исследуемой реки, км²; δ и δ_a , δ_2 и δ_{2a} – поправочные коэффициенты, учитывающие для исследуемой реки и реки-аналога регулирующее влияние, соответственно, озер, прудов, водохранилищ, а также болот и заболоченных земель. Для горных рек при отсутствии озер (прудов, водохранилищ) и болот коэффициенты δ и δ_a , δ_2 и δ_{2a} равны 1.

Морфометрические характеристики р.Терек в районе г.п. Терек:

- площадь водосбора – 5812,0 км²;
- длина русла – 171,0 км;
- средневзвешенный уклон русла – 28‰
- средняя высота водосбора – 1740 м;
- озерности и заболоченности нет.

Река-аналог – р. Терек (с. п. ст. Котляревская):

- площадь водосбора $A = 8920,0$ км²;
- длина русла $L = 186,0$ км;

- средняя высота водосбора – 1800 м;
- средневзвешенный уклон $I = 26\text{‰}$;
- максимальный расход воды р. Терек 1% 1209,0 м³/с.

Модуль максимального расхода воды $q_{p\%,a}$ реки-аналога расчетной вероятности превышения $P\%$, м³/с·км² определяется по формуле:

$$q_{1\%,a} = \frac{Q_{1\%,a}}{A_a}, \quad (7)$$

где $Q_{1\%,a}$ – максимальный расход воды дождевого паводка реки-аналога вероятности превышения 1%, равный 1209 м³/с, а площадь водосбора реки-аналога равна 8920 км²;

$$q_{1\%,a} = 1209/8920 = 0,13554;$$

φ_m – коэффициент, учитывающий редукцию максимального модуля стока дождевого паводка, рассчитываем в зависимости от значения коэффициента η_ϕ :

$$\eta_\phi \approx LA_a^{0,56} / L_a A^{0,56}, \quad (8)$$

где L и L_a – гидрографическая длина водотока для исследуемой реки и реки-аналога, км;

$$L = 171,0 \text{ км}, L_a = 186,0 \text{ км};$$

A и A_a – площадь водосбора для исследуемой реки и реки-аналога, км.

$$\eta_\phi \approx 171 \cdot 8920^{0,56} / 186,0 \cdot 5812,0^{0,56} = 1,17 < 1,5 \text{ тогда } \varphi_m = (A_a / A)^n,$$

где $n = 0,15$.

$$\varphi_m = (8920/5812,0)^{0,15} = 1,06636;$$

$$Q_{1\%} = 0,13554 \cdot 1,06636 \cdot 1 \cdot 5812,0 = 840,0 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В таблице 1 приведены максимальные значения расходов воды разной процентной обеспеченности $P\%$ с использованием переходных коэффициентов в зависимости от номера района, площади водосбора и средней высоты водосбора.

Таблица 1. Расход воды в выбранном створе р. Терек г.п. Терек в зависимости от процентной обеспеченности $P\%$

Расход, м ³ /с	P%					
Q _{p%}	1	3	5	10	25	50
	840,0	663,6	630,0	504,0	369,6	252,0

Так как на участке заложения створа русло реки делится на 2 почти одинаковых рукава, максимальный расход воды 1% обеспеченности мы поделили пополам. В таблице 2 приведены максимальные значения расходов воды разной процентной обеспеченности Р % для указанного створа.

Таблица 2. Расход воды в створе №3 р.Терек г.п. Терек в зависимости от процентной обеспеченности Р %.

Расход, м ³ /с	Р%					
Q _{Р%}	1	3	5	10	25	50
	420,0	331,8	315,0	252,0	184,8	126,0

Расчетные наивысшие уровни воды дождевых паводков определены по кривым зависимости $h = f(Q)$ по формуле Шези с использованием данных полевых работ.

Расчет основных параметров водного потока для выбранного створа р. Терек г.п. Терек приведен в таблице 3. Расчёты проводились методом Агроскина по следующим формулам:

$$Q = V\omega; \quad V = c\sqrt{Ri}; \quad R = \frac{\omega}{\chi}; \quad C = \frac{1}{n} R^{1/6};$$

где: h – высота стока воды, м; ω – площадь смоченной поверхности, м²; χ – периметр смоченной поверхности, м; R – гидравлический радиус, м; C – коэффициент Шези; V – скорость потока, м/с; Q – расход воды, м³/с; n – коэффициент шероховатости русла; для выбранного створа $n = 0,05$; i – уклон русла в створе, определен по данным натурных обследований; для выбранного створа равен 0,013.

Таблица 3. Основные параметры водного потока для створов № 1 р. Терек г.п. Терек

№ створа	Высота стока h , м	Площадь ω , м ²	Смоченный периметр, χ , м	Гидравлический радиус R , м	Уклон I	Коэффициент Шези, C	Скорость V , м/с	Расход Q , м ³ /с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,6	134,0	226,38	0,592	0,013	18,33	1,67	224,0
1	0,8	179,3	226,88	0,788	0,013	19,21	1,94	348,6
1	1,2	269,92	228,0	1,184	0,013	20,57	2,55	688,8
1	1,6	360,82	229,1	1,575	0,013	21,57	3,086	1113,7

По кривым зависимости $h = f(Q)$ определяем значения высоты стока и уровня воды в створе от максимального расхода воды разных обеспеченностей (рис. 2).

Рис. 2. График зависимости $h = f(Q)$.

Высота стока и уровни воды в створе русла р. Терек (в районе г.п. Терек) в зависимости от максимального расхода воды разной процентной обеспеченности приведены в таблице 4.

Таблица 4. Высота стока и уровни воды в створе русла р. Терек

Параметр	Р%					
	1	3	5	10	25	50
$Q_{p\%}, \text{м}^3/\text{с}$	840,0	663,6	630,0	504,0	369,6	252,0
$h, \text{м}$	1,37	1,18	1,15	1,0	0,83	0,65
$H, \text{мБС}$	257,77	257,58	257,55	257,4	257,23	257,05
$h, \text{м}$	1,38	1,21	1,17	1,05	0,87	0,70
$H, \text{мБС}$	253,38	253,21	253,17	253,05	252,87	252,70
$Q_{p\%}, \text{м}^3/\text{с}$	420,0	331,8	315,0	252,0	184,8	126,0
$h, \text{м}$	1,30	1,10	1,08	0,95	0,78	0,62
$H, \text{мБС}$	250,90	250,70	250,68	250,55	250,38	250,22

Выводы

1. На реке Терек гибкие противозерозионные конструкции практически не применяются. В наиболее размываемых участках реки Терек были установлены, в основном, жесткие берегозащитные сооружения (сборные железобетонные плиты).

2. Несмотря на значительное снижение уровней воды в реках КБР, угроза затопления вышеозначенных территорий весьма актуальна и требует немедленного решения.

3. Существующие берегозащитные сооружения, имеющиеся на водотоках Кабардино-Балкарской Республики, приводят к образованию значительных потерь в разных областях народного хозяйства, постепенной деградации земель, снижению их продуктивности.

4. Большинство имеющихся конструктивных решений нуждаются в улучшении и дальнейшем совершенствовании.

5. Результаты анализа проведенных натурных обследований выявили, что выбор оптимального варианта берегозащитного сооружения зависит от морфологических параметров потока и русла, причем, кроме надежности, следует рассматривать различные экологические показатели, то есть разработать некий интегральный показатель, который учитывал бы это условие и который в настоящее время пока еще не существует.

Список использованных источников

1. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B., Borisova N.A. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards – Режим доступа: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028992168&partnerID=40&md5=2fc29a4e45190d3f3908b3cd1977b2f7>

2. Апажев А.К., Гварамия А.А., Маржохова М.А. Феномен устойчивости социо-эколого-экономического развития и саморазвития аграрно-рекреационных территорий // Сибирская финансовая школа. – 2015. – № 5 (112). – С. 22-26.

3. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Fiapshev A.G., Shekikhacheva L.Z. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia // Journal of Physics: Conference Series. 1889. – 2021. 032033. DOI: [10.1088/1742-6596/1889/3/032033](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/3/032033). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/3/032033/pdf>.

4. Шекихачева Л.З. Обоснование мероприятий по орошению и защите плодовых насаждений от неблагоприятных погодных явлений в Северо-Кавказском регионе // В сборнике: Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты. Материалы Национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 156-160.

5. Шекихачева Л.З., Зотов Р.А., Шоров А.З. Системный анализ экологических факторов агроэкосистем // В сборнике: Энергосбережение и энергоэффективность: проблемы и решения. Сборник научных трудов IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля

ля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Хазретали Умаровича Бугова. – 2020. – С. 327-331.

6. Шекихачева Л.З., Атаев М.А., Жемухов Р.А. Минимизация экологических рисков в горных и предгорных агроландшафтах // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России. Сборник научных трудов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения Х.Г. Урусмамбетова. – 2018. – С. 254-257.

7. Шекихачева Л.З., Архестов К.А., Туменов К.Х. Охрана окружающей среды и получение экологически чистой продукции // В сборнике: Инновации в агропромышленном комплексе. Материалы VI Межвузовской научно-практической конференции сотрудников и обучающихся аграрных вузов Северо-Кавказского Федерального Округа, посвященной 100-летию со дня рождения профессора З.Х. Шауцукова. – 2017. – С. 157-160.

8. Бжеумыхов В.С., Шекихачев Ю.А. Основные направления рационального использования, охраны и улучшения почвенных ресурсов в Кабардино-Балкарской республике // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 4 (30). – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2017/4/st_412.doc

Цитирование:

Шекихачев Ю.А., Кушаева Е.А., Озрокова Л.Б. Определение расчетных параметров границ затопления поймы реки Терек на основе инженерно-гидрологических расчетов [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_321.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20213321>.