

5. Goldin, A. L., M. A. Kolosov, and K. P. Morgunov. "Calculation for settlement and slant of central part of hydraulic lock № 5 of Volga-Don inland navigation channel." *Zhurnal Universiteta vodnyh kommu-nikacij* 3 (2009): 15–21.
6. Goloskokov, D. P., and V. A. Daniljuk. "Modelling of the intense-deformed condition of the navigable sluice chamber by means of polynoms." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4 (2011): 16–21.
7. Goloskokov, D. P. "Simulation of stress-strain state of elastic bodies with polynomials." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1 (2013): 8–14.
8. Levachev, Stanislav Nikolaevich, and Tat'yana Sergeevna Fedorova. "Stress-strain state of concrete in the walls of lock chambers of the Moscow channel." *Vestnik MGSU* 8 (2013): 137–149.
9. Semenov, A. A. Vliyanie otricatelnyh temperatur na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie sten kamer sudohodnyh shljuzov. PhD diss. SPb.: SPGUVK, 2005.
10. Morgunov, K. P., and A. A. Kardakov. "The assessment of the technical condition of the sluice by thermo condition of its elements." *Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij* 1 (2011): 22–28.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Моргунов Константин Петрович — кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
morgunovkp@gumrf.ru
Красникова Марина Валерьевна — аспирант.
Научный руководитель:
Моргунов Константин Петрович.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
mvkrasnikova@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Morgunov Konstantin Petrovich — PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
morgunovkp@gumrf.ru
Krasnikova Marina Valerievna — postgraduate.
Supervisor:
Morgunov Konstantin Petrovich.
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
mvkrasnikova@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24 июня 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-85-94
УДК 627.8

**М. А. Колосов,
Н. В. Селезнёва**

ЗАЩИТА ОТ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ ПОСРЕДСТВОМ УСТРОЙСТВА РУСЛОВЫХ ПОРОГОВ

В статье рассмотрены актуальные для горных районов средства борьбы с дождевыми паводками. Приведен обзор западного опыта по расчисткам русел рек и эффективности малых водохранилищ, задерживающих паводковый сток. Проанализировано действие расчистки русла и приведено обоснование недостаточности русловых расчисток для увеличения пропускной способности водотока. Рассчитаны необходимые размеры поперечного сечения водопропускного канала, требуемые для обеспечения пропуска паводкового расхода воды в р. Адагум. Рекомендуются противопаводковая система защиты бассейна р. Адагум с помощью временных водохранилищ «ловушек», задерживающих дождевой сток в русле реки, образованных порогами. Приведены конструкции порогов с учетом пропуска межпаводкового стока воды и рыбопропуска. Предложены конструктивные схемы порогов из разных материалов. Представлены конструкции порогов с различными формами водосливов. Изложены расчетные формулы для определения необходимого количества порогов, сооружаемых в русле реки и среднего объема воды, задерживаемого в водохранилище, образованном одним порогом. Сделан вывод о надежности противопаводковой системы, состоящей из «сухих» водохранилищ, распределяющих по времени сток паводковых объемов воды к населенному пункту.

Ключевые слова: дождевые паводки, регулирование, противопаводковые водохранилища, временно заполняемые водохранилища, пороги, плотины, «сухие» водохранилища.

Введение

Основная задача борьбы с речными наводнениями состоит в создании в речном бассейне условий, благоприятствующих выравниванию процессов стекания воды по руслу реки. Это выравнивание достигается проведением комплекса мероприятий в начальных звеньях гидрографической сети и регулированием стока с помощью водохранилищ. Регулирование паводков распределительной системой водохранилищ с учетом экологических факторов было изложено в работе Л. Ю. Макаровой [1], в которой автором были рассмотрены три схемы регулирования паводковых расходов:

1) с помощью создания крупных противопаводковых водохранилищ, характеризующихся затоплением больших площадей в верхнем бьефе и негативными экологическими последствиями и как следствие, большими ущербами;

2) с помощью русловых гидроузлов с ГЭС;

3) с помощью комбинированной схемы совместного регулирования паводковых расходов русловым гидроузлом с ГЭС и временно-заполняемыми водохранилищами. Введено понятие *регулирование стока распределенной системой водохранилищ* и проанализировано воздействие временно-заполняемых водохранилищ на экосистему водосбора.

В статье [2] была предложена система небольших водохранилищ-«ловушек», располагаемых на мелких притоках, в лесных ручьях и оврагах с постепенным спуском дозированного расхода через водосбросы, рассчитанные на пропуск безопасного расхода, и предложены фильтрующие конструкции плотин.

Система защиты от наводнений заявлена В. С. Новиковым в патенте на полезную модель 2004 г. в виде комплекса временных противопаводковых водохранилищ, устанавливаемых на притоках реки. Пропуск воды дозируется посредством сквозного отверстия, рассчитанного на пропуск безопасного расхода, при этом водосбросные отверстия плотин, расположенных на одном притоке, имеют одинаковую площадь поперечного сечения. Предложенная В. С. Новиковым полезная модель предполагает возведение большого количества каскадов водохранилищ, накапливающих воду в бассейне водосбора между соседними плотинами [3].

С. В. Боровков предлагает применять строительство фильтрующих плотин для защиты от наводнений путем срезки пика паводка и перераспределения стока во времени, а также перекрытия второстепенной протоки в многорукавном русле [4]. Также им был проанализирован традиционный режим в габионных сооружениях [4].

Основная часть

Для защиты от подтопления городов и поселков, расположенных на Черноморском побережье (г. Сочи, Туапсе, Новороссийск), а также на северном склоне Кавказа (г. Крымск, Майкоп, Кисловодск и др.) в Краснодарском крае Постановлением губернатора от 01 августа 2012 г. № 881 утверждена долгосрочная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Краснодарского края в 2013 – 2020 гг.», реализация которой может предусматривать строительство дамб обвалования, «сухих» водохранилищ, обводных каналов, а также проведение других защитных мероприятий. Наряду с мероприятиями по защите населения от паводков предусмотрены также мероприятия по расчистке русел рек для увеличения их пропускной способности.

Предполагается, что расчистка русла увеличит пропускную способность и понизит уровень подтопления территорий, однако из справочных гидравлических таблиц коэффициентов шероховатости для различных водотоков видно, что в результате расчистки и бетонирования водопропускного канала вместе с увеличением пропускной способности уменьшится коэффициент шероховатости русла, а, следовательно, увеличится коэффициент Шези и скорость стекания паводковых вод в населенный пункт. Из опыта расчистки русел р. Рейна, Везера, Одера (Европа) [5], Миссисипи и Миссури (США) в XIX – XX вв. известно, что, несмотря на комплекс дноуглубительных и выправительных работ, опасность наводнений на этих ре-

ках сохранялась в течение всех последующих лет [6], [7]. Так, на р. Рейн (Германия) наводнение удалось уменьшить только в последние годы, когда в его верховьях были построены водохранилища-«ловушки», задерживающие паводковый сток. На Рейне эти водохранилища образованы бетонными плотинами с щелевыми водосбросами и носят постоянный характер [8]. После паводка 2000 г. власти Германии потребовали расчистить русло р. Одер, предложив убрать оттуда полузапруды, построенные для укрепления берегов и русла ещё в начале прошлого века с целью увеличения судоходных глубин, однако исследования показали, что их влияние на паводковый уровень незначительно [9]. Ученые института Водного строительства (г. Карлсруэ) провели моделирование участков р. Одер на физической модели длиной около 100 м. Результаты были следующими: разборка полузапруд из русла понизит паводковый уровень на 5 см [10], [11].

Общеизвестно, что пропускная способность реки зависит от двух основных параметров: площади живого сечения реки и скорости течения, при этом расчистка русла позволит увеличить площадь сечения, углубляя русло и срезая берега, а скорость течения можно увеличить только за счет увеличения уклона, а увеличить уклон свободной поверхности воды практически невозможно [12]. Это заключение было изложено В. И. Истоминым [13] и подтверждено расчетами авторов [14] применительно к г. Крымску (р. Адагум) [15]. Направление паводковых потоков на г. Крымск (июль 2012 г.) [16] показано на рис. 1. Максимальный прошедший паводковый расход $1500 \text{ м}^3/\text{с}$ был принят по результатам анализа, выполненного Государственным гидрологическим институтом (ГГИ) после прохождения паводка [15]. При уклоне $I = 0,0051$ и скорости потока $V = 2,35 \text{ м/с}$ для пропуска данного расхода потребуются площадь поперечного сечения канала $638,3 \text{ м}^2$. При глубине канала 2,0 м его ширина составит 320 м. Учитывая, что канал необходимо проложить через весь город, объем выемки грунта при длине канала порядка 11 км составит более $6,5 \text{ млн м}^3$ [14].

Сопоставление площадей поперечных сечений паводкового потока 6 – 7 июля 2012 г. и меженного русла приведено на рис. 2 [15]. Из рисунка видно, что при выходе на пойму при максимальном паводковом расходе в р. Адагум площадь поперечного сечения во время паводка июля 2012 г. превысила площадь меженного русла в 112 раз. Общий вид затопленного города приведен на рис. 3 [16].

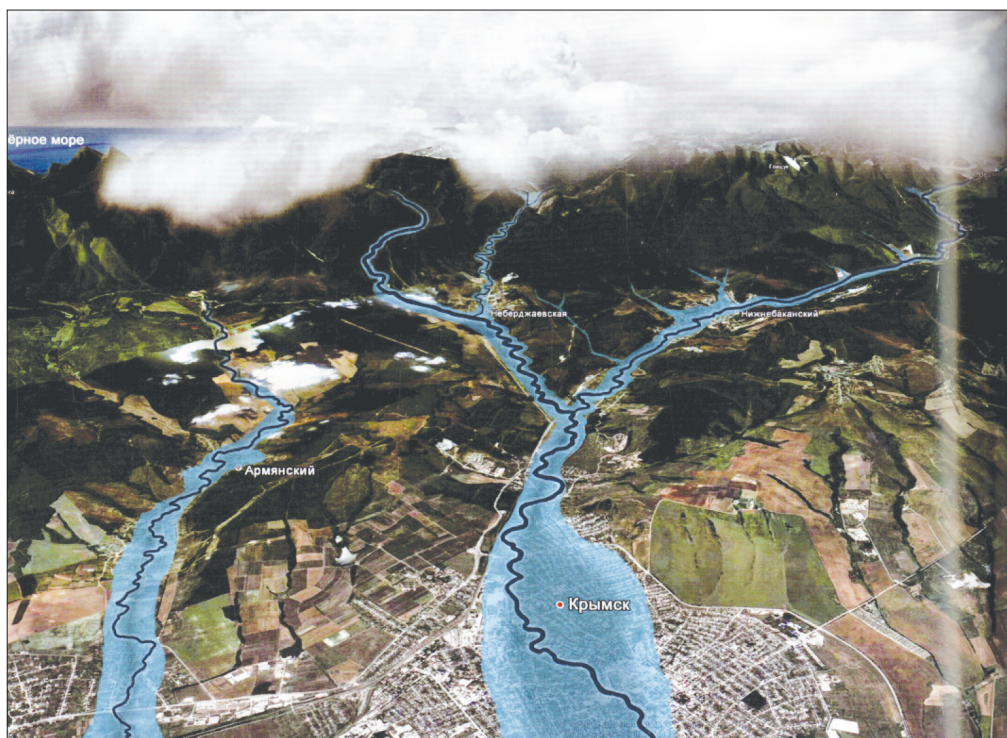


Рис. 1. Направление паводковых потоков на г. Крымск (июль 2012 г.)

р. Адагум в 6,2 км выше Варнавинского водохранилища (створ № 19)

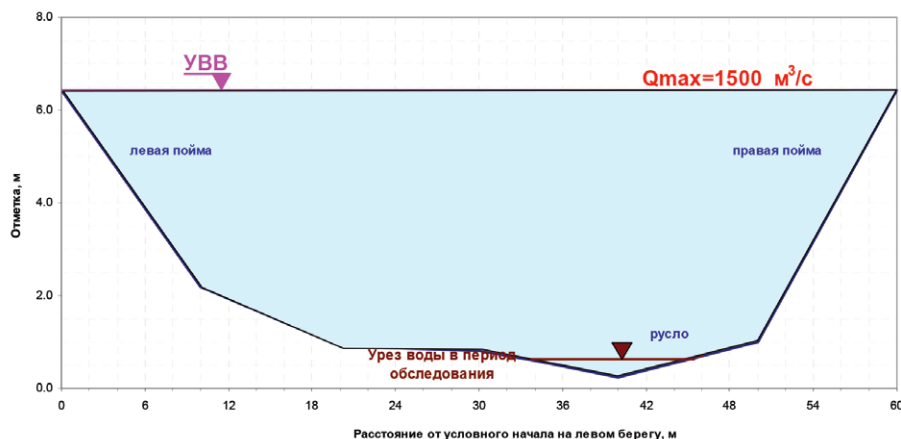


Рис. 2. Заполнение поперечного сечения русла р. Адагум паводковыми водами 6 – 7 июля 2012 г.:
УВВ — уровень высоких вод (наивысший уровень воды, определенный по меткам высоких вод);
 $Q_{\max}$ — максимальный расход воды, рассчитанный гидравлическим методом на основе данных полевых гидрографических обследований



Рис. 3. Общий вид затопленного города Крымск в июле 2012 г.

Учитывая, что расчистка русла не решает вопроса снижения паводка в населенных пунктах, расположенных в предгорьях, предлагается вернуться к схеме задержки паводковых вод в зоне их формирования. Схема расположения противопаводковых плотин на притоках рек достаточно разработана [17] и особенно эффективна на притоках р. Адагум, где имеются террасы, позволяющие задержать 66 % объема стока [14]. На реках, имеющих достаточно крутые продольные уклоны и каньонное сечение русла, вместо плотин формируются каменные пороги, при этом каждый из них в период паводка должен создавать временное водохранилище (рис. 4).

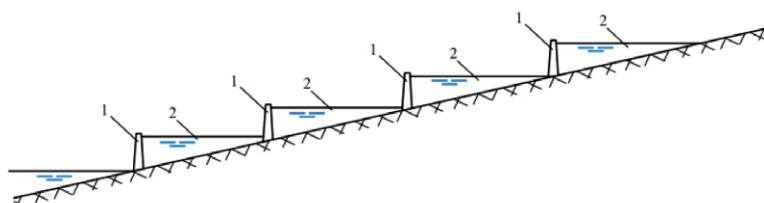


Рис. 4. Схема разбивки русла на пороги: 1 — пороги; 2 — временные водохранилища

Конструкция порогов должна выполнять две задачи:

- в период паводка задерживать паводковый объем воды;
- в межпаводковый период пропускать меженный сток воды, а в нерестовых реках — выполнять рыбопропускную функцию.

Конструкция таких порогов создается самой природой на реках Карелии. Здесь каждый порог создает подпорный участок реки с достаточно большой площадью, при этом большинство рек Карелии, благодаря естественным порогам, имеют безопасный паводковый режим.

Конструкция естественных каменных порогов имеет следующие формы водосливов (рис. 5):

- поверхностный ступенчатый водослив (рис. 5, а);
- щелевой поверхностный водослив (рис. 5, б);
- глубинный фильтрующий порог (рис. 5, в);
- водопадный порог (рис. 5, г).

Каждый каменный порог сбрасывает накопленный объем за счет фильтрации через каменную наброску.

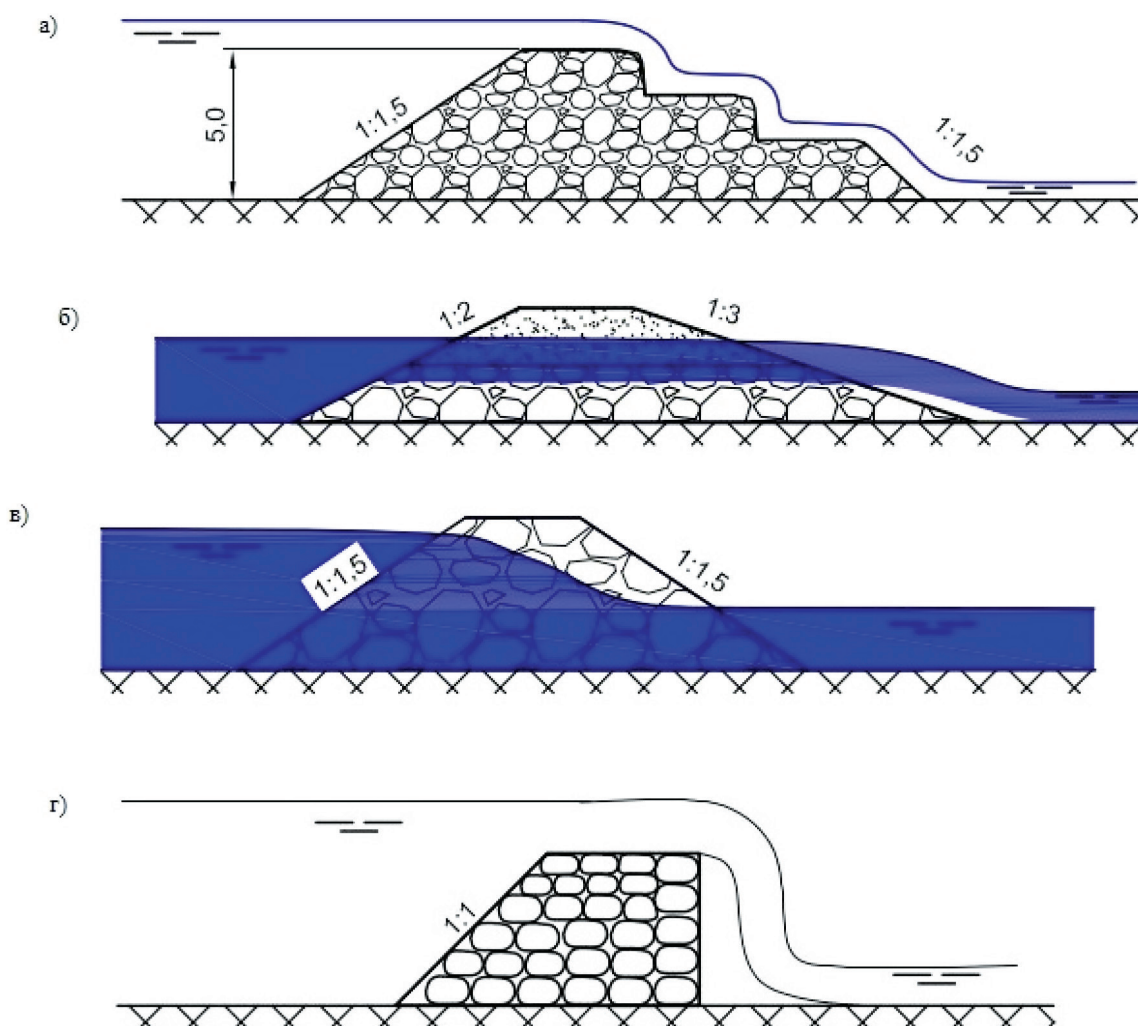


Рис. 5. Формы водосливов естественных каменных порогов:
а — порог со ступенчатым водосливом; б — порог со щелевым водосливом;
в — порог с фильтрующим водосливом; г — водопадный порог

Пороги в руслах рек можно построить не только из камня, но также из мешков с песком [18], [19] или геотуб (рис. 6, а), грунта и хвороста (фашин) — рис. 6, б.

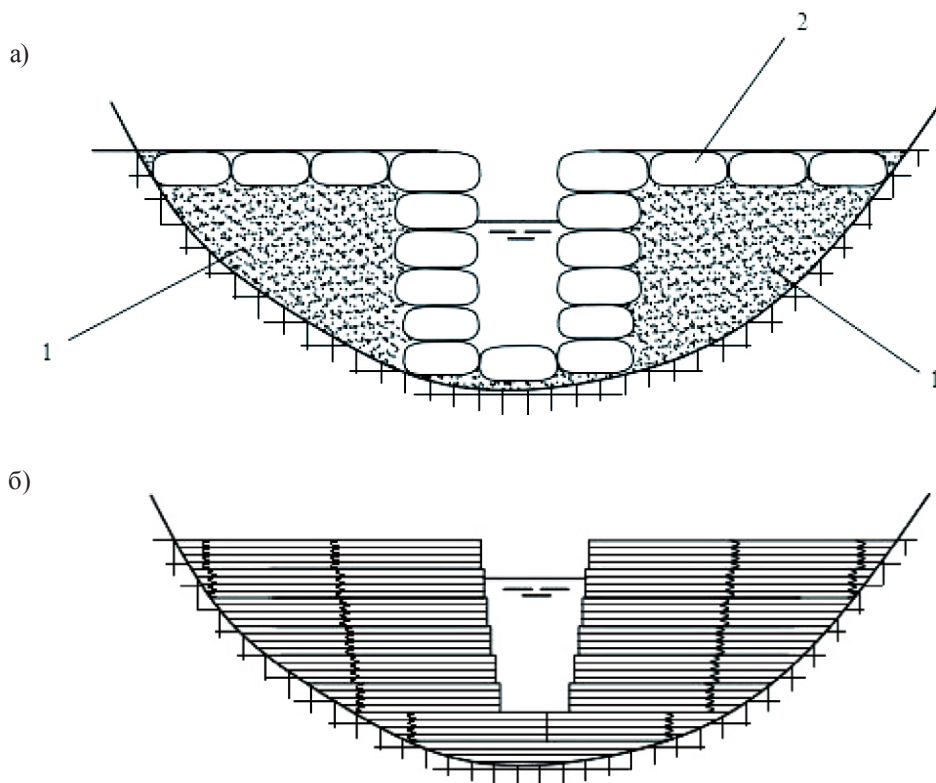


Рис. 6. Конструкции порогов в руслах рек: а — порог из мешков с песком и грунта (1 — грунтовая насыпь; 2 — мешки с песком из геотекстиля); б — порог из фашинной кладки

Для удержания паводкового стока рассчитывается необходимое количество порогов, сооружаемых в русле реки:

$$n = \frac{W}{V} K, \quad (1)$$

где W — объем стока, поступающего в русло реки от дождевого паводка; K — степень задержки стока, рассчитывается исходя из безопасного расхода ($K = 0,5 \dots 0,8$); V — средний объем стока, задерживаемый одним порогом.

Средний объем, задерживаемый одним порогом, по формуле (2) рассчитывается исходя из высоты порога h , уклона склонов русла i_c и уклона берегов i_b (рис. 7).

$$V = F_n \frac{1}{3} l, \quad (2)$$

где F_n — площадь русла, перекрываемого порогом; l — длина водохранилища-«ловушки».

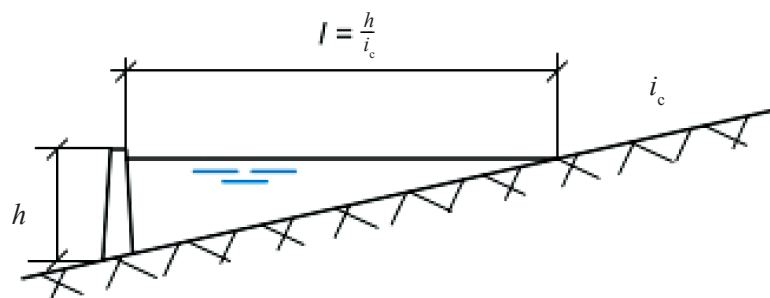


Рис. 7. Схема к расчету высоты порога в зависимости от уклона русла и длины водохранилища-«ловушки»

Площадь русла, перекрываемого порогом, по формуле (3) определяется высотой порога и уклоном боковых склонов i_6 (рис. 8):

$$F_{\pi} = \frac{h^2}{i_6}, \quad (3)$$

где h — высота порога; i_6 — уклон боковых склонов русла.

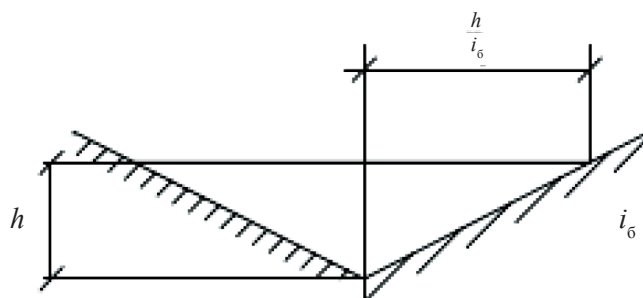


Рис. 8. Продольный профиль порога

Подставляя в формулу (2) значение F_{π} из формулы (3), получим формулу объема водяного клина водохранилища-«ловушки»:

$$V = \frac{1}{3} \cdot \frac{h^3}{i_6}. \quad (4)$$

Выводы

1. Западный опыт переформирования русел рек показал нерезультативность мер по расчистке русла с целью снижения паводкового уровня и доказывает эффективность использования «сухих» водохранилищ, обеспечивающих пропуск меженного расхода, для защиты от дождевых паводков.

2. Расчистка русла ведет к увеличению скорости потока и уменьшению коэффициента шероховатости русла, что приводит к резкому увеличению паводкового расхода и повышению уровня воды в зоне населенных пунктов, расположенных ниже участков расчистки.

3. Для снижения уровня паводка в населенных пунктах Краснодарского края (г. Сочи, Туапсе, Новороссийск, Крымск и др.) может быть эффективным проект противопаводковых водохранилищ-«ловушек», образуемых посредством строительства плотин или порогов из местных материалов, а также устройством в руслах притоков «сухих» водохранилищ.

4. Противопаводковая схема защиты, состоящая из «сухих» водохранилищ, расположенных на притоках, позволяет распределить прохождение паводка по времени и постепенно опорожнять водохранилища через саморегулирующиеся водосбросы, исключая внезапность поступления паводковых вод и предотвращая резкий подъем уровня воды в населенных пунктах.

5. Создавая в русле реки «сухое» водохранилище, можно задерживать значительный объем паводковой воды. Такая схема наиболее эффективна, если плотина возводится, перекрывая поток и формируя водохранилище на широкой пойме.

6. Рекомендуется составлять проект противопаводковых систем с учетом рельефа площади водосбора, степени разветвления речной сети, геологии берегов, склонов, уклонов основного русла и притоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макарова Л. Ю. Регулирование паводков распределительной системой водохранилищ с учетом экологических факторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.16. / Л. Ю. Макарова. — СПб., 1996. — 18 с.

2. Колосов М. А. Водохранилища-«ловушки» для защиты от наводнений / М. А. Колосов // Наука и жизнь. — 2003. — № 1. — С. 140–141.
3. Пат. 41739 Российская Федерация. МПК Е 02 В 3/00. Система защиты от наводнений / В. С. Новиков; заявитель и патентообладатель В. С. Новиков. — № 2004121338/22; Заявлено 19.07.2004; Опубл. 10.11.2004, Бюл. № 31.
4. Боровков С. В. Регулирование стока рек фильтрующими плотинами: Дис. ... канд. техн. наук / С. В. Боровков. — СПб.: СПбГУВК, 2007.
5. Rogger M. Runoff models and flood frequency statistics for design flood estimation in Austria – Do they tell a consistent story? / M. Rogger, B. Kohl, H. Pirkel, A. Viglione, J. Komma, R. Kirnbauer, R. Merz, G. Blöschl // Journal of Hydrology. — 2012. — Vol. 456–457. — Pp. 30–43. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.05.068
6. Dottori F. Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping / F. Dottori, P. Salamon, A. Bianchi, L. Alfieri, F. A. Hirpa, L. Feyen // Advances in Water Resources. — 2016. — Vol. 94. — Pp. 87–102. DOI:10.1016/j.advwatres.2016.05.002.
7. Villarini G. On the seasonality of flooding across the continental United States / G. Villarini // Advances in Water Resources. — 2016. — Vol. 87. — Pp. 80–91. DOI:10.1016/j.advwatres.2015.11.009.
8. Scholz M. Guidance on variables characterising water bodies including sustainable flood retention basins / M. Scholz, Q. Yang // Landscape and Urban Planning. — 2010. — Vol. 98. — Is. 3–4. — Pp. 190–199. DOI:10.1016/j.landurbplan.2010.08.002.
9. Helms M. Statistical analysis of the flood situation and assessment of the impact of diking measures along the Elbe (Labe) river / M. Helms, B. Büchele, U. Merkel, J. Ihringer // Journal of Hydrology. — 2002. — Vol. 267. — Is. 1–2. — Pp. 94–114. DOI:10.1016/S0022-1694(02)00143-9.
10. Schumann G. J.-P. Technology: fight floods on a global scale / G. J.-P. Schumann, P. D. Bates, J. C. Neal, K. M. Andreadis // Nature. — 2014. — Vol. 507. — Is. 7491. — Pp. 169–169. DOI:10.1038/507169e.
11. Schumann G. J.-P. A first large scale flood inundation forecasting model / G. J.-P. Schumann, J. C. Neal, N. Voisin, K. M. Andreadis, F. Pappenberger, N. Phanthuwongpakdee, A. C. Hall, P. D. Bates // Water Resources Research. — 2013. — Vol. 49. — Is. 10. — Pp. 6248–6257. DOI: 10.1002/wrcr.20521.
12. Pizarro R. Inland water bodies in Chile can locally increase rainfall intensity / R. Pizarro, P. Garcia-Chevesich, R. Valdes, F. Dominguez, F. Hossain, P. Ffolliott, C. Olivares, C. Morales, F. Balocchi, P. Bro // Journal of Hydrology. — 2013. — Vol. 481. — Pp. 56–63. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.12.012.
13. Истомин В. И. Наводнение в Крымске: причины и выводы / В. И. Истомин // Гидротехника. XXI век. — 2012. — № 4. — С. 52.
14. Колосов М. А. Водохранилища-«ловушки» в системе защиты от затопления г. Крымск / М. А. Колосов, Н. В. Селезнева // Гидротехника. — 2014. — № 1. — С. 123–125.
15. Георгиевский В. Ю. Катастрофический паводок в бассейне р. Адагум 6 – 7 июля 2012 г. и его причины: Отчёт ФГБУ «ГГИ», ФГБУ «Краснодарский ЦГМС» / В. Ю. Георгиевский, Ю. Ю. Ткаченко. — 2012. — 42 с.
16. Матишов Г. Г. Кубанский паводковый кризис: климат, геоморфология, прогноз, Крымск, июль 2012 г.: пособие для спец. / Г. Г. Матишов, А. В. Клещенко // РАН, Южный науч. центр, Ин-т аридных зон, Мурманский. мор. биол. ин-т КНЦ. — Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2012. — 127 с.
17. Колосов М. А. «Веерная» система защиты от ливневых паводков / М. А. Колосов, Н. В. Селезнева // Гидротехника XXI век. — 2012. — № 4. — С. 53–56.
18. Пат. 2552361 РФ, МПК Е 02 В 3/00, Е 02 В 3/02, Е 02 В 3/10. Противопаводковая фильтрующая плотина / М. А. Колосов, Н. В. Селезнева, А. А. Эйрус; заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». — № 2014108679/13; заявл. 05.03.2014; опубл. 10.06.2015. — Бюл. № 16.
19. Колосов М. А. Выявление потенциально опасных зон, подверженных дождевым паводкам и принципы инженерной защиты / М. А. Колосов, Н. В. Селезнева // Водные пути и русловые процессы: сб. науч. тр. — Вып. 2 / под ред. проф. Г. Л. Гладкова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. — С. 152–161.

RAINFALL FLOODS PROTECTION BY THE CHANNEL RAPID STRUCTURE

Methods of flood control actual for mountain regions are considered in the article.

There was adduced the Western experience on clearing riverbeds and efficiency of small catching water storage reservoirs delaying flood flow. Authors analyzed riverbed clearing effect and gave an explanation of

inefficiency of channel clearing for the increase of discharge capacity. Also authors computed the required cross-sectional dimensions of channel discharge necessary for experienced flood flow discharge of the Adagum river.

Recommended by authors flood control system of the Adagum river basin using temporary catching water reservoirs, formed by rapids or low dams that entrap the rainfall runoff in riverbed. Rapid constructions with consideration for free-flow of low summer discharge and fishway were adduced. Construction schemes of rapids can be built by different materials. Construction schemes of rapids with different forms of rapid spillways were adduced. Authors set out formulas for calculating the required number of rapids, constructed in the riverbed and the average amount of water retained in the reservoir formed by one rapid. Authors made a conclusion about the reliability of flood control system, consisting of a “dry” catching water reservoirs controlled flash flood runoff to a settlement.

Keywords: rainfall floods, regulation, flood control reservoirs, temporarily-filled reservoirs, rapids, dams, “dry” water reservoir.

REFERENCES

1. Makarova, L. Ju. Regulirovanie pавodkov raspredelitelnoj sistemoj vodohranilishh s uchetom jekologicheskikh faktorov. Abstract of PhD diss. SPb., 1996.
2. Kolosov, M. A. “Vodohranilishha – «lovushki» dlja zashhity ot navodnenij.” *Nauka i zhizn* 1 (2003): 140–141.
3. Novikov, V. S. RU 41 739 U1, IPC E 02 B 3/00. Sistema zashhity ot navodnenij. Russian Federation, assignee. Patent 41739. 19 July 2004.
4. Borovkov, S. V. Regulirovanie stoka rek filtrujushhimi plotinami. PhD diss. (Tech.). SPb.: SPGUVK, 2007.
5. Rogger, M., B. Kohl, H. Pirkl, A. Viglione, J. Komma, R. Kirnbauer, R. Merz, and G. Blöschl. “Runoff models and flood frequency statistics for design flood estimation in Austria – Do they tell a consistent story?” *Journal of Hydrology* 456–457 (2012): 30–43. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.05.068.
6. Dottori, F., P. Salamon, A. Bianchi, L. Alfieri, F. A. Hirpa, and L. Feyen. “Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping.” *Advances in Water Resources* 94 (2016): 87–102. DOI:10.1016/j.advwatres.2016.05.002.
7. Villarini, G. “On the seasonality of flooding across the continental United States.” *Advances in Water Resources* 87 (2016): 80–91. DOI:10.1016/j.advwatres.2015.11.009.
8. Scholz, M., and Q. Yang. “Guidance on variables characterising water bodies including sustainable flood retention basins.” *Landscape and Urban Planning* 98.3–4 (2010): 190–199. DOI:10.1016/j.landurbplan.2010.08.002.
9. Helms, M., B. Büchele, U. Merkel, and J. Ihringer. “Statistical analysis of the flood situation and assessment of the impact of diking measures along the Elbe (Labe) river.” *Journal of Hydrology* 267.1–2 (2002): 94–114. DOI:10.1016/S0022-1694(02)00143-9.
10. Schumann, G. J.-P., P. D. Bates, J. C. Neal, and K. M. Andreadis. “Technology: fight floods on a global scale.” *Nature* 507.7491 (2014): 169–169. DOI:10.1038/507169e.
11. Schumann, G. J.-P., J. C. Neal, N. Voisin, K. M. Andreadis, F. Pappenberger, N. Phanhuwongpakdee, A. C. Hall, and P. D. Bates. “A first large scale flood inundation forecasting model.” *Water Resources Research* 49.10 (2013): 6248–6257. DOI: 10.1002/wrcr.20521.
12. Pizarro, R., P. Garcia-Chevesich, R. Valdes, F. Dominguez, F. Hossain, P. Ffolliott, C. Olivares, C. Morales, F. Balocchi, and P. Bro. “Inland water bodies in Chile can locally increase rainfall intensity.” *Journal of Hydrology* 481 (2013): 56–63. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.12.012.
13. Istomin, V. I. “Navodnenie v Krymske: prichiny i vyvody.” *Gidrotehnika. XXI vek* 4 (2012): 52.
14. Kolosov, M. A., and N. V. Selezneva. “Vodohranilishha – «lovushki» v sisteme zashhity ot zatopenija g. Krymska.” *Gidrotehnika* 1 (2014): 123–125.
15. Georgievskij, V. Ju., and Ju. Ju. Tkachenko. *Katastroficheskiy pавodok v bassejne r. Adagum 6 – 7 ijulja 2012 g. i ego prichiny: Otchjot FGBU «GGI», FGBU «Krasnodarskiy CGMS»*. 2012.
16. Matishov, G. G., and A. V. Kleshhenkov. *Kubanskiy pавodkovyj krizis: klimat, geomorfologija, prognoz, Krymsk, ijul’ 2012 g.: posobie dlja spec.* Rostov n/D: Izd-vo JuNC RAN, 2012.
17. Kolosov, M. A., and N. V. Selezneva. “«Veernaja» sistema zashhity ot livnevyh pавodkov.” *Gidrotehnika XXI vek* 4 (2012): 53–56.

18. Kolosov, M. A., N. V. Selezneva, and A. A. Jejrus. RU 2 552 361 C1, IPC E 02 B 3/00, E 02 B 3/02, E 02 B 3/10. Protivopavodkovaja filtrujushhaja plotina. Russian Federation, assignee. Patent 2552361. 5 March 2014.

19. Kolosov, M. A., and N. V. Selezneva. "Vyjavlenie potencialno opasnyh zon, podverzhennyh dozhdevym pavodkam i principy inzhenernoj zashhity." *Vodnye puti i ruslovyje processy: sb. nauch. tr. Vyp. 2*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2015: 152–161.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колосов Михаил Александрович —
 доктор технических наук, профессор.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С. О. Макарова»
kolosov-34@mail.ru, kaf_gsk@gumrf.ru
Селезнёва Наталия Валерьевна — аспирант.
 Научный руководитель:
Колосов Михаил Александрович.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С. О. Макарова»
natalyselezneva@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kolosov Mihail Aleksandrovich —
 Dr. of Technical Sciences, professor.
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
kolosov-34@mail.ru, kaf_gsk@gumrf.ru
Selezneva Natalija Valerevna — postgraduate.
 Supervisor:
Kolosov Mihail Aleksandrovich.
natalyselezneva@mail.ru

Статья поступила 21 июня 2016 года

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-94-104
УДК 627.83

А. А. Коношенков

РАЗРАБОТКА РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТОВОЙ ПЕРЕМЫЧКИ В АВАРИЙНОМ ВОДОСБРОСЕ

В статье представлена конструкция аварийного трубчатого водосброса с грунтовой перемычкой, обеспечивающей быстрое включение системы при достижении в водохранилище критического уровня воды из-за паводков малой обеспеченности. Объясняется проблематичность расчёта разрушения грунтовой перемычки в рассмотренной конструкции водосброса. Проведён обзор конструкций аварийных и резервных водопропускных сооружений, содержащих вставки из грунтовых материалов, а также математические модели расчёта их разрушения. Также рассмотрены существующие математические модели разрушения грунтовых плотин, модели формирования прорана. Проанализирована возможность применения существующих моделей для расчёта разрушения грунтовой перемычки представленной конструкции. Составлена модель расчёта разрушения грунта с помощью метода электрогидродинамических аналогий. Выполнены графики определения критического разрушающего напора для грунтовых перемычек. Предложен алгоритм разрушения грунтовой перемычки в течение времени.

Ключевые слова: паводок малой обеспеченности, водосброс, грунтовая перемычка, метод ЭГДА.

Введение

Аккумуляция и пропуск паводкового расхода — одна из наиважнейших проблем в современной гидротехнике. Интересы гидроэнергетики требуют как можно более быстрого наполнения водохранилища до проектной отметки после периода сработки водохранилища, что приводит к неготовности его принять паводок обеспеченности меньше 1 % (рис. 1) из-за уже заполненного объёма. В данной ситуации очень важно пропустить паводок, чтобы избежать перелива воды через гребень гидроузла.