

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 627.4

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227

Исследование берегоукрепительных сооружений на р. Куме в Ставропольском крае

Александр Александрович Ткачев¹, Михаил Александрович Слинько²

^{1,2}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

¹prof_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

²gts_i_sm.nimi@mail.ru

Аннотация. Цель: обоснование требуемой ширины устойчивого русла при проведении берегоукрепительных работ на р. Куме в районе г. Зеленокумска в Ставропольском крае. Выполнен анализ условий питания реки в районе проектирования, рассмотрены основные причины эрозионно-аккумулятивных процессов р. Кумы в центральной части г. Зеленокумска Ставропольского края. **Материалы и методы.** Рассматриваемый бассейн р. Кумы расположен в двух природных зонах – предгорьях Северного Кавказа и степях Предкавказья, что влияет на устойчивое грунтовое питание и паводковый режим в теплое время года за счет осадков ливневого характера. Весеннее половодье здесь не наблюдается из-за постепенного стаивания снега по высотным поясам, поэтому происходит постепенный переход от зимней межени к половодно-паводковому периоду. В результате двойного питания складывается своеобразие водного режима рек бассейна Кумы, в котором сочетаются весеннее половодье, многопиковые летние паводки и устойчивая осенне-зимняя межень. **Результаты.** Выполнена проверка ширины устойчивого русла по рекомендациям Алтунина, назначены исходя из имеющихся морфометрических характеристик варианты крепления. **Выводы.** Габионная структура обладает отличным качеством устойчивости, т. е. структура может позволить закрепление растений или возобновление вегетации внутри каркаса конструкции. Рост корней на самом деле помогает структуре стать более устойчивой. Следовательно, процесс эксплуатации таких конструкций улучшает экосистему. Кроме того, габионная конструкция регулирует окружающую среду в отношении климата и влажности. Хорошая конструкция может эффективно регулировать скорость текущей воды, повышая шероховатость, тем самым сводя к минимуму вероятность наводнения.

Ключевые слова: берегоукрепительные сооружения, габионное крепление, гидрологические условия, устойчивое русло, инженерно-геологические условия

Для цитирования: Ткачев А. А., Слинько М. А. Исследование берегоукрепительных сооружений на р. Куме в Ставропольском крае // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 1. С. 213–227. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Study of bank protection structures on the Kuma river in Stavropol Territory

Alexander A. Tkachev¹, Mikhail A. Slinko²

^{1,2}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation
¹prof_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>
²gts_i_sm.nimi@mail.ru

Abstract. Purpose: substantiation of the required width of a stable channel while carrying out bank protection works on the Kuma river near the town Zelenokumsk Stavropol Territory. The analysis of the river feeding conditions in the design area is carried out, the main reasons for the erosion-accumulative processes of the Kuma river in the central part of Zelenokumsk, Stavropol Territory are considered. **Materials and methods.** The considered basin of the Kuma river is located in two natural zones – the foothills of the North Caucasus and the steppes of the Ciscaucasia, that affects the stable groundwater feed and the flood regime in the warm season due to heavy rainfall. Spring flood is not observed here due to the gradual snow melting along the high-altitude zones, therefore, there is a gradual transition from the winter runoff low period to the high-water-flood period. As a result of double feeding, the originality of the water regime of the Kuma basin rivers is formed, in which spring floods, multi-peak summer floods and a stable autumn-winter low-water period are combined. **Results.** The width of the stable channel was checked by Altunin's recommendations, and the fastening options based on the available morphometric characteristics were assigned. **Conclusions.** The gabion structure has an excellent quality of stability, that is, the structure can help the plant fixation or the vegetation reproduction within the structural frame. Root growth actually helps the structure to become more stable. Consequently, the operation process of such structures improves the ecosystem. Besides, the gabion construction regulates the environment in terms of climate and humidity. A good design can effectively regulate the velocity of the flowing water, increasing the roughness, thus minimizing the probability of flooding.

Keywords: bank protection structures, gabion fastening, hydrological conditions, stable channel, geological-engineering conditions

For citation: Tkachev A. A., Slinko M. A. Study of bank protection structures on the Kuma river in Stavropol Territory. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(1):213–227. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227>.

Введение. Участок берегоукрепительных сооружений расположен в центральной части г. Зеленокумска Ставропольского края. Участок исследований находится в среднем течении р. Кумы, которое служит юго-восточной границей Ставропольской возвышенности, она представляет собой плато, полого снижающееся к северо-западу, северу и востоку. Склоны Ставропольского плато сложены денудационно-аккумулятивными равнинами. Рельеф Ставропольского плато, сложенный из палеогеновых и неогеновых пород, довольно широко и глубоко расчленен. Абсолютные высоты в южной и западной частях достигают 500–700 м и больше (г. Стрижамент – 832 м), на севере и востоке – 150–400 м.

На юге плато обрывается довольно крутым уступом к продольной

ложбине, отделяющей его от платообразных кустовых предгорий Большого Кавказа. Эта ложбина в западной своей части относится к бассейну Кубани (от Армавира до Невинномысска), в восточной (в районе Минеральных Вод) к бассейну р. Кумы. Бассейн р. Кумы расположен на северных склонах Скалистого и Пастбищного хребтов и юго-восточном склоне Ставропольской возвышенности. Скалистый и Пастбищный хребты представляют собой слабо наклонное к северу плоскогорье с отдельными округлыми возвышающимися вершинами. Хребты сильно расчленены долинами многочисленных притоков. В соответствии с геоморфологической картой Ставропольского края, изучаемая территория принадлежит к аллювиальной эрозионно-аккумулятивной пойменной равнине.

Река в районе участка исследований описывает глубокие меандры, подрезая при этом то правый, то левый берег (рисунок 1). Глубина вреза русла в тело надпойменной террасы на участках подрезки достигает 5–6 м, а ширина русла 15–30 м. Абсолютные отметки естественной поверхности на участке меняются от 141,90 до 147,35 м (по устьям скважин). Согласно климатическому районированию, исследуемый район относится к Предкавказской восточной климатической области, подрайон – восточные склоны Ставропольского плато.

Материалы и методы. Истоки р. Кумы находятся на склонах Скалистого хребта, среднее течение отделяет южную границу Ставропольской возвышенности. Ранее устье терялось в приустьевых плавнях, после ввода в эксплуатацию Кумского коллектора плавни осушены, река доходит до Каспийского моря. Общая площадь водосбора реки – 20,3 тыс. км², на водомерном посту в г. Зеленокумске – 9960 км².

Работа Отказненского водохранилища сглаживает прохождение паводков в г. Зеленокумске, в большей степени на интенсивность паводков оказывает влияние левый приток р. Кумы – р. Мокрый Карамык, которая впадает в Куму в городе.

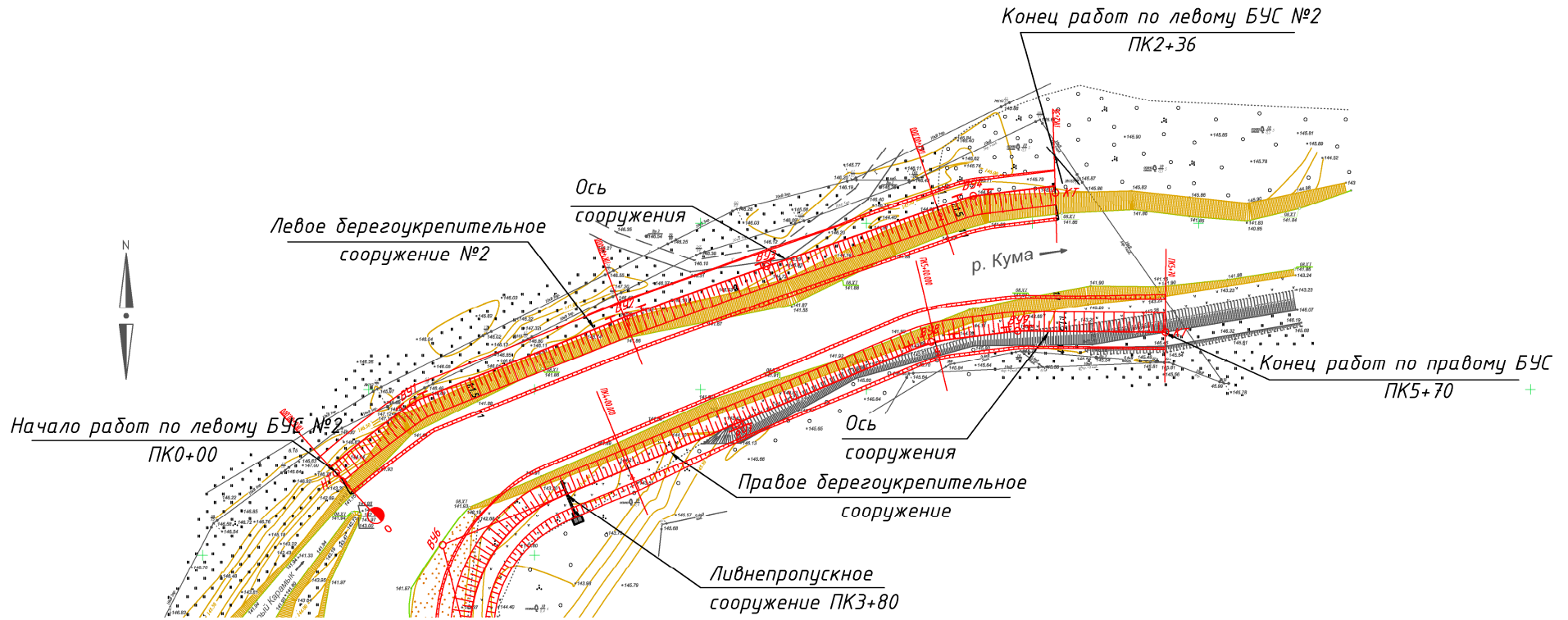


Рисунок 1 – План-схема участка берегоукрепления на р. Куме
Figure 1 – Layout plan of the bank protection section on the Kuma river

Бассейн р. Кумы принадлежит к двум природным зонам – предгорьям Северного Кавказа и степям Предкавказья. Этим обуславливается водный режим притоков. Предгорные притоки имеют устойчивое грунтовое питание и паводковый режим в летний период за счет осадков ливневого характера. Весеннее половодье на них не наблюдается из-за постепенного стаивания снега по высотным поясам, поэтому происходит постепенный переход от зимней межени к половодно-паводковому периоду. Степные притоки имеют сток лишь весной в период снеготаяния (половодье наблюдается не ежегодно), летом пересыхают, и лишь во время интенсивных ливневых дождей на них может возобновиться сток. Частые выпадения дождей, значительные уклоны рек и склонов иногда способствуют формированию достаточно мощных паводков, но чаще всего по форме гидрографы паводков сглаженные, невысокие, продолжительностью от 10 до 20 сут. В результате такого двойного питания складывается своеобразие водного режима рек бассейна Кумы, в котором сочетаются весеннее половодье, многопиковые летние паводки и устойчивая осенне-зимняя межень.

В верхнем течении реки, относящемся к горно-предгорному поясу, хорошо развита речная сеть, где формируется основной сток реки. Степные притоки маловодны, сильно зарегулированы многочисленными прудами, в которых задерживается почти весь сток.

Основной приток, превосходящий р. Куму по водности, р. Подкумок дает примерно 60–70 % объема годового стока бассейна.

После ввода в эксплуатацию в 1966 г. Отказненского водохранилища сток р. Кумы зарегулирован, при этом были решены следующие основные задачи:

- зарегулировать весеннее половодье и дождевые паводки для перераспределения максимальных расходов воды в среднем и нижнем течении реки;

- зарегулировать сезонный сток верхнего течения р. Кумы для организации орошения;

- выполнить предварительное осветление воды перед забором в оросительные системы.

Река Кума в районе г. Зеленокумска имеет наибольшие ретроспективные и расчетные значения максимального стока. Ниже по течению величина максимальных расходов уменьшается из-за естественной трансформации (разновременности притока) и регулирования за счет ширины поймы, которая на отдельных участках может достигать 4 км.

В Зеленокумске левобережный приток р. Мокрый Карамык имеет площадь водосбора, равную 1960 км², что примерно составляет 25 % площади водосбора р. Кумы к створу слияния. Основным источником питания р. Мокрый Карамык служат сезонные осадки. В водном режиме реки, как и у реки-водоприемника, выделяется весеннее половодье, летняя и осенне-зимняя межень. Весеннее половодье формируется в основном за счет снеготазпасов, от которых и зависят максимальные расходы. Значительное влияние также оказывает сезонная интенсивность таяния снега. Снеготазпасы, как правило, незначительны, а частые оттепели зимой приводят к тому, что весеннее половодье наблюдается не каждый год, но иногда наибольшие расходы воды половодья являются и наибольшими годовыми.

Наступившая после весеннего половодья межень часто прерывается дождевыми паводками. Объем, форма гидрографов и продолжительность паводков зависят от распределения осадков и характера дождей, разнообразия рельефа и состояния подстилающей поверхности. Максимальные расходы воды и объемы паводкового стока определяются в основном интенсивностью осадков и предшествующей увлажненностью бассейна.

На территории исследований развиты активная эрозионная деятельность реки, процессы подтопления, из эндогенных – сейсмичность площадки. По наличию процесса подтопления по отношению к критическому

уровню грунтовых вод относится к подтопленной области I ($H_{кр}/H_{ср} > 1$, где $H_{кр}$ – критическая глубина на участке, м; $H_{ср}$ – средняя глубина на участке, м), по условиям развития процесса – к району, подтопленному в естественных условиях I-A, по времени развития процесса – к участку, сезонно (ежегодно) подтапливаемому I-A-2 ($H_{кр}/H_{ср} - \Delta h > 1$, где Δh – изменение глубины на участке, м).

Гидрогеологические условия исследованного участка характеризуются развитием горизонта грунтовых вод. Подземные воды на период исследований вскрыты на глубинах от 1,2 до 5,1 м, абсолютные отметки уровня грунтовых вод изменяются от 141,65 до 142,25 м. Водовмещающими породами являются аллювиально-делювиальные суглинки ИГЭ-3. Формируя единый грунтовый водный поток, подземные воды на территории изысканий гидравлически связаны с поверхностными водами реки.

Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, инфильтрации поверхностных вод, перетоков из водоносных горизонтов, расположенных выше по рельефу, утечек из водонесущих коммуникаций. Основной расходной статьей грунтовых вод является испарение и транспирация растениями, перетоки в водоносные горизонты, расположенные ниже по рельефу. Дренаживание подземных вод происходит в р. Куму.

Амплитуда сезонных колебаний уровня грунтовых вод может составить до 1,5 м.

Результаты. В связи со стесненными условиями проведения работ мероприятия по уширению или сужению существующего русла не запланированы. Все работы по берегоукреплению проводятся в границах русла реки и береговой полосы. Согласно «Методическим указаниям по расчету устойчивых аллювиальных русел горных рек при проектировании гидротехнических сооружений» [1] выполнена проверка ширины устойчивого

равновесного русла при руслоформирующем расходе 10% обеспеченности по формуле Алтунина:

$$B_y = A \cdot \frac{Q_{10\%}^{0,5}}{i^{0,2}},$$

где B_y – ширина устойчивого русла по урезу воды 10% обеспеченности, м;

A – коэффициент, характеризующий устойчивость русла, принимаемый равным 0,9;

$Q_{10\%}$ – руслоформирующий расход 10% обеспеченности, м³/с;

i – уклон русла реки на участке исследования, ‰.

$$B_y = 0,9 \cdot \frac{107^{0,5}}{0,005^{0,2}} = 26,8 \text{ м.}$$

Расчетная ширина устойчивого русла меньше фактической, существующей ширины русла или равна ей, следовательно, дополнительных мероприятий по формированию русла реки не требуется [2–4].

Отметка верха крепления была определена с учетом максимальных значений расчетного уровня воды при обеспеченности $P = 3 \%$ ($Q_{3\%} = 163 \text{ м}^3/\text{с}$) и поверочного уровня воды при $P = 0,5 \%$ ($Q_{0,5\%} = 280 \text{ м}^3/\text{с}$) с запасом $0,5 \text{ м}^{1,2}$.

Конструкция берегоукрепительных сооружений на пропуск проектных максимальных расходов принимается с учетом сопряжения проектных отметок дна на начальном и конечном участках с существующими отметками дна [3].

¹Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003: СП 116.13330.2012: утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095540> (дата обращения: 01.10.2021).

²Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*: СП 39.13330.2012: утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 29.12.11: введ. в действие с 01.01.13 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095521> (дата обращения: 01.10.2021).

Берегоукрепление согласно выбранному варианту предусматривается выполнить откосного типа с заложением откоса 1:1,5 с креплением габионными конструкциями – матрацами Рено ГСИ-М-4,0×2,0×0,3-С80-2,7-ЦАММ и ГСИ-М-3,0×2,0×0,3-С80-2,7-ЦАММ, ГОСТ Р 52132-2003 (рисунок 2).

Конструкции матрацев из габиона просты в сборке и установке. Матрац-габион не требует очень квалифицированной рабочей силы, крупного механизированного строительного оборудования или сложных технических средств. Конструкция может быть изготовлена на месте. Матрац-габион с проволочной сеткой из низкоуглеродистой стали обладает высокой способностью выдерживать неожиданные и локализованные нагрузки.

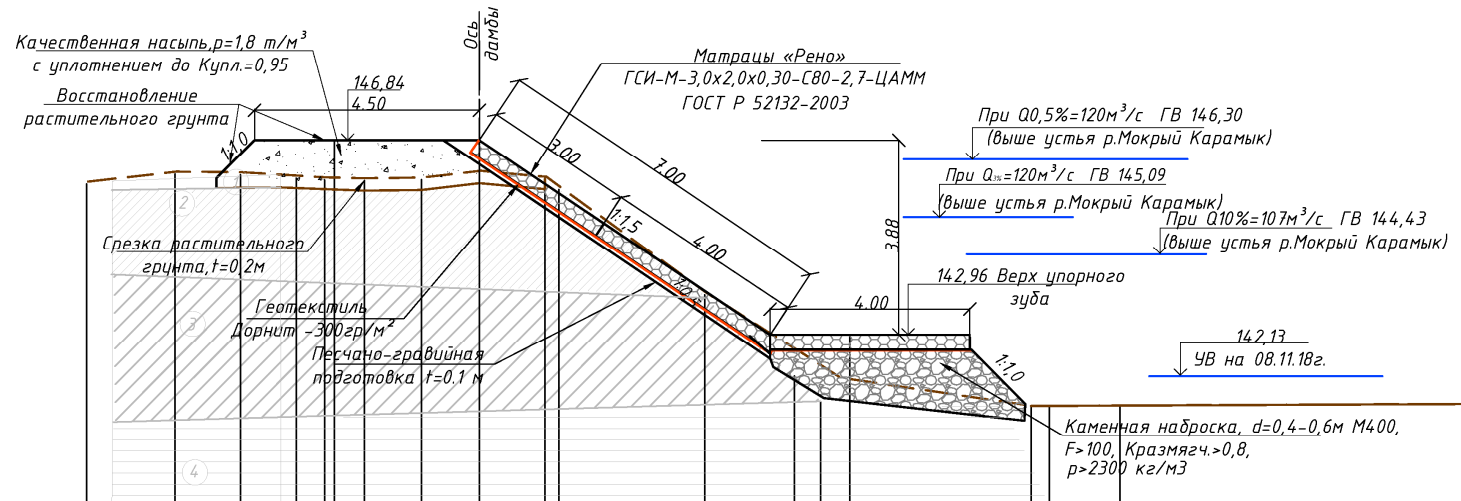
Технические решения по строительству берегоукрепительных сооружений приняты в соответствии с требованием нормативных источников таким образом, чтобы соблюдалось условие недопущения наступления предельных состояний на всех этапах строительства и эксплуатации, в т. ч. и в конце расчетного срока их службы [5–7]. Для рассматриваемых берегоукрепительных сооружений расчетный срок службы составляет 50 лет.

В процессе исследований выполнены расчеты устойчивости откосов с целью определения устойчивости сооружения на скольжение, сдвиг и опрокидывание с учетом всех расчетных нагрузок, данных инженерно-геологических изысканий, уровня залегания грунтовых вод и сейсмических условий района строительства.

Согласно расчетам, коэффициент запаса устойчивости $K_{уст}$ больше нормативного значения на общую устойчивость по методу Бишопа (составляет 2,65) и превышает нормативное значение более чем в 2 раза.

Габионные конструкции предотвращают эрозию берега реки и локальные размывы в течение следующих нескольких десятилетий. При надлежащем обслуживании местными службами могут эффективно эксплуатироваться 30–50 лет [8].

Поперечный профиль 1 на ПК0+00



М 1:100 по вертикали
 М 1:100 по горизонтали

Проектные данные	Отметка покрытия, м													
		146.08	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	
Фактические данные	Отметка рельефа, м													
	145.96	146.16	146.14	146.04	146.03	146.04	146.17	146.05	145.85	143.75	142.13	14.163	14.154	
		Расстояние, м												
		1.77	1.31	1.68	0.80	1.14	1.16	1.31	2.91	1.80	0.52	4.22	16.16	

Рисунок 2 – Вариант крепления откосного типа с использованием матрасов Рено

Figure 2 – A variant of a sloping type fastening using Reno mattresses

Конструкция из габиона допускает дифференциальную осадку и предотвращает потерю структурной эффективности. Однако в случае простой ошибки, такой как небольшая шнуровка, неподходящие камни или дефектный геотекстильный фильтр, конструкция может выйти из строя [9]. Гибкость увеличивает использование габиона в барьерах от камнепадов. Конструкции из габиона – это не только сельское решение, они также широко используются в современных строительных и стеновых подпорных конструкциях. Конструкция из габиона быстро возводится и может сразу использоваться как во влажных, так и в сухих условиях. Матрац из габиона не имеет проблем с гидростатическим давлением и имеет свободный отток воды [10].

Предложенные решения могут компенсировать последствия паводков и стимулировать инвестиции в местную систему орошения для прокладки оросительных каналов и полива сельскохозяйственных угодий.

Устраняется опасность эрозии, и территория в 300–500 домов, расположенных у места строительства, является безопасной. Местное население может обрабатывать свои земли, а также вести другую хозяйственную деятельность, что также увеличивает ценность и продуктивность обрабатываемых участков земли.

Улучшается ситуация с водоснабжением и надлежащими санитарными требованиями вблизи рассматриваемой территории, существующие мосты, дороги и другие ресурсы становятся надежнее и безопаснее после реализации проекта [9–11].

Выводы. В работе рассмотрены различные особенности проектирования, при котором гидрологический и метеорологический анализ конкретной реки является важным элементом, его необходимо произвести перед проектированием и установкой габионов. Аналогичным образом проведена оценка морфологии русла, определены геотехнические граничные условия, свойства проволоки и камня и геотехническая устойчивость ниж-

него слоя с соответствующими геотекстильными фильтрами, которые считаются основными факторами, влияющими на эксплуатационные свойства.

В рамках исследований был сделан вывод о том, что, хотя для защиты берега реки от эрозии доступны различные методы защиты, габионные конструкции часто выбираются из-за их дешевизны производства, гибкости, долговечности, стабильности и экологичности. Габионы экологически безопасны, они имеют низкий углеродный след, тогда как бетонные конструкции имеют высокий углеродный след. Сравнение бетонной подпорной стены с габионным раствором такой же высоты показывает, что до 80 % выбросов CO₂ можно снизить за счет использования габионных конструкций. Конструкция из габиона регулирует климат и влажность окружающей среды. Матрацы Рено имеют широкий спектр экологических преимуществ благодаря своей стабильности, гибкости, долговечности и устойчивости. Использование матрацев Рено может позволить закрепить растения или возобновить вегетацию внутри каркаса конструкции. Рост корней, на самом деле, помогает структуре стать более устойчивой. Следовательно, процесс эксплуатации таких конструкций улучшает экосистему. Хорошая конструкция может эффективно регулировать скорость течения воды, повышая шероховатость, тем самым снижая вероятность наводнения.

Список источников

1. Методические указания по расчету устойчивых аллювиальных русел горных рек при проектировании гидротехнических сооружений / Минводхоз СССР, Союзоргтехводстрой. М.: Колос, 1972. 104 с.

2. Прокопов А. Ю., Лебидко В. А. Выбор и обоснование методов берегоукрепления (на примере р. Кубань в г. Краснодаре) // Известия Ростовского государственного строительного университета. 2015. Т. 2, № 20. С. 41–48.

3. Ткачев А. А., Слинко М. А. Эффективные мероприятия по укреплению низовых откосов земляных плотин // Вестник мелиоративной науки. 2020. № 2. С. 73–79.

4. Тлявлин Р. М., Тлявлиня Г. В., Дроботько С. Ю. Физическое моделирование взаимодействия волнения с проектируемыми берегоукрепительными сооружениями Имеретинской низменности // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2011. Т. 7, № 2. С. 112–116.

5. Ткачев А. А. Потенциал развития берегоукрепительных сооружений под влиянием зеленой экономики // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и ис-

следовательские аспекты: сб. науч. тр. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. Нальчик, 2021. С. 230–232.

6. Ткачев А. А., Карельская Е. В., Макогонов А. В. Совершенствование крепленый откосов оросительных каналов // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2020): материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию Победы в Велик. Отечеств. войне. Уфа, 2020. С. 40–43.

7. Логинов Г. И., Матвиец В. В., Мейман У. Б. Использование регуляционных сооружений на участках рек // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2018. Т. 18, № 4. С. 107–111.

8. Sediment Management / L. Picco, D. Ravazzolo, M. Lenzi, J. Moretto, M. Cesca, A. Vianello, B. Mazzorana, P. Macconi, F. Brardinoni, M. Cavalli, B. Giulia, T. Francesco, H. Piégay, L. Vaudor, S. Rusjan, J. Papez, H. Habersack, J. Aigner. 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.3646.9928.

9. Эшев С. С. Деформации откосов больших каналов в земляном русле под действием поверхностных волн // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 6. С. 26–28.

10. Мельникова Е. А., Егорова С. В., Лагунова В. В. Проблемы экологической реабилитации реки Десны и ее притоков р. Болвы и р. Снежети в черте г. Брянска // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. 2013. № 1(3). С. 103–107.

11. Barman T. Relation of riverbank erosion with agricultural landuse practices on floodplain of river Jaldhaka (Mansai) at Tikiner char, Bhowerthana village, Coochbehar, Westbengal, India // International Journal of Research in Geography (IJRG). 2016. Vol. 2, iss. 1. P. 1–7. <http://dx.doi.org/10.20431/2454-8685.0202001>.

References

1. *Metodicheskie ukazaniya po raschetu ustoychivyykh allyuvial'nykh rusel gornyykh rek pri proektirovanii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Guidelines for the calculation of stable alluvial mountain river canals while designing the hydraulic structures]. Ministry of Water Resources of the USSR, Soyuzorgtekhvodstroy, Moscow, Kolos Publ., 1972, 104 p. (In Russian).

2. Prokopov A.Yu., Lebidko V.A., 2015. *Vybor i obosnovanie metodov beregoukrep- leniya (na primere r. Kuban' v gorode Krasnodare)* [Selection and substantiation of bank protection methods (on example of the Kuban river in town Krasnodar)]. *Izvestiya Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Rostov State University of Civil Engineering], vol. 2, no. 20, pp. 41-48. (In Russian).

3. Tkachev A.A., Slinko M.A., 2020. *Effektivnye meropriyatiya po ukrepleniyu nizovykh otkosov zemlyanykh plotin* [Effective measures to strengthen the lower slopes of earth dams]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bulletin of Land Reclamation Science], no. 2, pp. 73-79. (In Russian).

4. Tlyavlin R.M., Tlyavlina G.V., Drobotko S.Yu., 2011. *Fizicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya volneniya s proektiruyemyimi beregoukrepitel'nymi sooruzheniyami Imere- tinskoy nizmennosti* [Physical modeling of the interaction of waves with bank protection structures in Imeretinskaya Lowland]. *Mezhdunarodnyy zhurnal po raschetu grazhdanskikh i stroitel'nykh konstruktsiy* [International Journal for Computational Civil and Structural Structures], vol. 7, no. 2, pp. 112-116. (In Russian).

5. Tkachev A.A., 2021. *Potentsial razvitiya beregoukrepitel'nykh sooruzheniy pod vli- yaniem zelenoy ekonomiki* [Development potential for bank protection structures under the influence of green economy]. *Aktual'nye problemy agrarnoy nauki: prikladnye i is- sledovatel'skie aspekty: sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoy (natsional'noy) nauchno- prakticheskoy konferentsii* [Actual Problems of Agricultural Science: Applied and Research Aspects: Proc. of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference]. Nalchik, pp. 230-232. (In Russian).

6. Tkachev A.A., Karelskaya E.V., Makogonov A.V., 2020. *Sovershenstvovanie krepleniya otkosov orositel'nykh kanalov* [Improvement of the reinforcement of irrigation canals slopes]. *Nauka, obrazovanie, proizvodstvo v reshenii ekologicheskikh problem (Ekologiya-2020): materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne* [Science, Education, Production in Solving Environmental Problems (Ecology-2020): Proc. of the XVI International Scientific and Technical Conference, Dedicated to the 75th Anniversary of the Victory in Great Patriotic War]. Ufa, pp. 40-43. (In Russian).

7. Loginov G.I., Matviets V.V., Meiman U.B., 2018. *Ispol'zovanie regulyatsionnykh sooruzheniy na uchastkakh rek* [Use of regulatory facilities in river sites]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta* [Bulletin of Kyrgyz-Russian Slavic University], vol. 18, no. 4, pp. 107-111. (In Russian).

8. Picco L., Ravazzolo D., Lenzi M., Moretto J., Cesca M., Vianello A., Mazzorana B., Macconi P., Brardinoni F., Cavalli M., Giulia B., Francesco T., Piégay H., Vaudor L., Rusjan S., Papez J., Habersack H., Aigner J., 2015. Sediment Management, DOI: 10.13140/RG.2.1.3646.9928.

9. Eshev S.S., 2011. *Deformatsii otkosov bol'shikh kanalov v zemlyanom rusle pod deystviyem poverkhnostnykh voln* [Deformations of slopes of large canals in the earth canal under the action of surface waves]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 6, pp. 26-28. (In Russian).

10. Melnikova E.A., Egorova S.V., Lagunova V.V., 2013. *Problemy ekologicheskoy rehabilitatsii reki Desny i ee pritokov r. Bolvy i r. Snezheti v cherte g. Bryanska* [Problems of ecological rehabilitation of the Desna river and its tributaries the Bolva and the Snezheti networks within town Bryansk limits]. *Byulleten' nauchnykh rabot Bryanskogo filiala MIIT* [Bulletin of scientific works of the Bryansk branch of MIIT], no. 1(3), pp. 103-107. (In Russian).

11. Barman T., 2016. Relation of riverbank erosion with agricultural landuse practices on floodplain of river Jaldhaka (Mansai) at Tikiner char, Bhowerthana village, Coochbehar, Westbengal, India. *International Journal of Research in Geography (IJRG)*, vol. 2, iss. 1, pp. 1-7, <http://dx.doi.org/10.20431/2454-8685.0202001>.

Информация об авторах

А. А. Ткачев – заведующий кафедрой гидротехнического строительства, доктор технических наук, доцент;

М. А. Слинько – магистрант.

Information about the authors

A. A. Tkachev – Head of the Department of Hydraulic Engineering, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

M. A. Slinko – Master Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 1. С. 213–227.
Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2022. Vol. 12, no. 1. P. 213–227.

Статья поступила в редакцию 19.10.2021; одобрена после рецензирования 21.12.2021; принята к публикации 18.01.2022.

The article was submitted 19.10.2021; approved after reviewing 21.12.2021; accepted for publication 18.01.2022.