

## СПОСОБ ВОЗВЕДЕНИЯ ГИБКОГО БИОПОЗИТИВНОГО БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЯ

## THE METHOD OF ERECTING A FLEXIBLE BIOPOSITIVE BANK PROTECTION



*Э. И. Калужская,  
Забайкальский  
государственный  
университет, г. Чита  
fsk\_elvira@mail.ru*

*E. Kaluzhskaya,  
Transbaikal State  
University, Chita*



*М. А. Босов,  
Забайкальский  
государственный  
университет, г. Чита  
max\_bosov@mail.ru*

*M. Bosov,  
Transbaikal State  
University, Chita*

Отмечено, что водный режим Забайкалья характеризуется неравномерным распределением стока, а преобладающим источником поступления влаги являются атмосферные осадки в виде серии дождевых паводков, часто вызывающих наводнения. Установлено, что, несмотря на существующее многообразие способов защиты берегов от размыва, поиск новых технических решений в настоящий момент продолжает оставаться актуальной задачей в гидротехническом строительстве. Особое место уделено гибким биопозитивным, берегоукрепительным конструкциям. Выделены основные составляющие элементы гибких конструкций, самыми популярными среди которых считаются различного вида габионы, фашины, бетонные, геомембранные и геотекстильные элементы. Выявлены возможные недостатки данных видов креплений, основные из которых заключаются в жесткости конструкции, низкой производительности труда и множественности механических соединений. На основе анализа существующих способов гибких креплений предложен новый способ возведения гибкого биопозитивного берегоукрепления. В качестве основного элемента использованы матрасно-тюфячные габионные конструкции, соединенные металлическим тросом. Отмечено, что данный способ позволяет предотвратить затопление паводковыми водами, а также укрепить размываемый берег, в частности береговую эрозию. Показано, что, стабилизировав русловые деформации, со временем данная конструкция примет благоприятное для себя очертание формы в плане, а за счет применяемых биопозитивных строительных материалов станет составляющей частью местной экосистемы. Для проектирования данного гибкого биопозитивного берегоукрепления выделены основные расчеты для определения толщины габиона, устойчивого диаметра камня, устойчивости гибкого крепления, общей длины конструкции

*Ключевые слова: гидрологические процессы; размыв берегов; берегоукрепление; гибкие конструкции; биопозитивные гидротехнические конструкции; гибкие элементы креплений; габионы; биоадаптивные материалы; новое техническое решение; природоприближенный способ крепления берега; устойчивость откоса*

It is noted that the water regime of Transbaikalia is characterized by an uneven distribution of runoff, and the prevailing source of moisture is atmospheric precipitation in the form of a series of rain floods, often causing floods. It is established that, despite the existing variety of ways to protect shores from erosion, the search for new technical solutions is still an urgent task in hydraulic engineering. A special place is given to flexible biopositive, bank protection structures. The main constituent elements of flexible structures are singled out, the most popular among which are various kinds of gabions, fascia, concrete, geomembrane and geotextile elements. Possible shortcomings of these types of fastenings, the main ones of which are rigidity of construction, low productivity of labor and multiplicity of mechanical connections, are revealed. On the basis of the analysis of the existing methods of flexible fastenings, a new method of constructing a flexible biopositive bank reinforcement is proposed. As the main element mattress-matriculate gabion structures are used, connected by a metal cable. It is noted that this method helps to prevent flooding by flood waters, and also to strengthen the eroded coast, in particular coastal erosion. It is shown that, stabilizing channel deformations, this structure will take a favorable shape for itself in the future, and due to the use of biopositive building materials it will become an integral part of the local ecosystem.

For the design of this flexible biopositive bank protection, the main calculations for determining the thickness of gabion, stable diameter of stone, stability of flexible fastening, total length of structure were pointed out

*Key words:* hydrological processes; erosion of shores; bank protection; flexible structures; biopositive hydraulic structures; flexible fasteners; gabions; bioadaptive materials; new technical solution; nature-friendly way of shore anchoring; stability

**Введение.** При выявлении опасных гидрологических процессов одной из главных задач в гидротехническом строительстве является минимизация техногенного воздействия на природную среду, что осуществимо при оптимизации использования прибрежной территории, а также сохранении продуктивности природной среды при рациональном применении ее естественных ресурсов.

Переработка, разрушение и размыв берегов в результате изменения гидрологического режима водотока при отсутствии правильно подобранных технических мер защиты носят неотвратимый и неизбежный характер. Изменение условий формирования стока является главной причиной подтоплений, паводков и половодий обширных территорий, что в дальнейшем приводит к потере прибрежных площадей. Одним из паводкоопасных районов является Забайкальский край.

Территория Забайкальского края представлена речной сетью с 44310 реками, отличительной чертой которых является преобладание дождевого питания (55...80 %), а снеговое и ледниковое питание большинства рек является незначительным. Водный режим характеризуется невысоким весенним половодьем, постепенно сменяющимся серией дождевых паводков, часто вызывающих наводнения [4]. На многих участках крупных рек при прохождении паводков, а также при пойменной многорукавности и незавершенном меандрировании наблюдается заполнение поймы водами [2].

Для эффективности надежности береговой полосы в период паводков при нарастающем размыве русла большое внимание уделяют гибким биопозитивным берегоукреплениям, а также способам их возведения.

Вопросами о методах и способах возведения данных конструкций занимались

многие ученые, среди которых З. Г. Ламердонов, С. О. Курбанов, А. А. Тутаев, Т. Ю. Хаширова, С. Т. Алтунин и др. [5–8].

*Результаты исследования и их обсуждение.* Биопозитивные гидротехнические конструкции сочетают в себе природные строительные материалы из возобновимых природных ресурсов, которые биодаптивны к окружающей среде и отвечают всем требованиям геоэкологичности, а именно: требуют минимальных усилий при изготовке сырья (материалов) для строительства конструкций; обладают минимальным воздействием на местную экосистему; характеризуются рециклируемостью при истечении срока эксплуатации [9]. К таким материалам можно отнести дерево, солому, бамбук, тростник, камень, пробку, песок. Материалы, полученные в результате переработки полезных ископаемых, можно назвать условно экологичными, которыми являются стекло, алюминий, глиняные изделия.

К гибким креплениям отнесем те из них, которые посредством входящих в конструкцию элементов приобретают между собой гибкую связь. Образуя цельную гибкую конструкцию, крепление адаптируется к видоизменениям берега и постепенно становится частью формы профиля в зависимости от сложившихся геологических, гидрогеологических, климатических условий. Самыми популярными элементами, входящими в данные крепления, являются различного вида габионы; фашины, бетонные, геомембранные и геотекстильные элементы [10; 11]. Данный вид крепления в гидротехническом и мелиоративном строительстве является менее изученным и наиболее перспективным.

Основными недостатками в способах возведения креплений являются: сложность способа возведения и монтажа; жесткость конструкции; низкая производительность

труда; множественность механических соединений между элементами конструкции; потребность в большом количестве каменного строительного материала; подверженность фильтрационным деформациям грунтового основания.

С учетом выявленных недостатков и на основе анализа существующих способов гибких креплений предложен новый природоприближенный способ крепления берега, который представлен на рисунке.

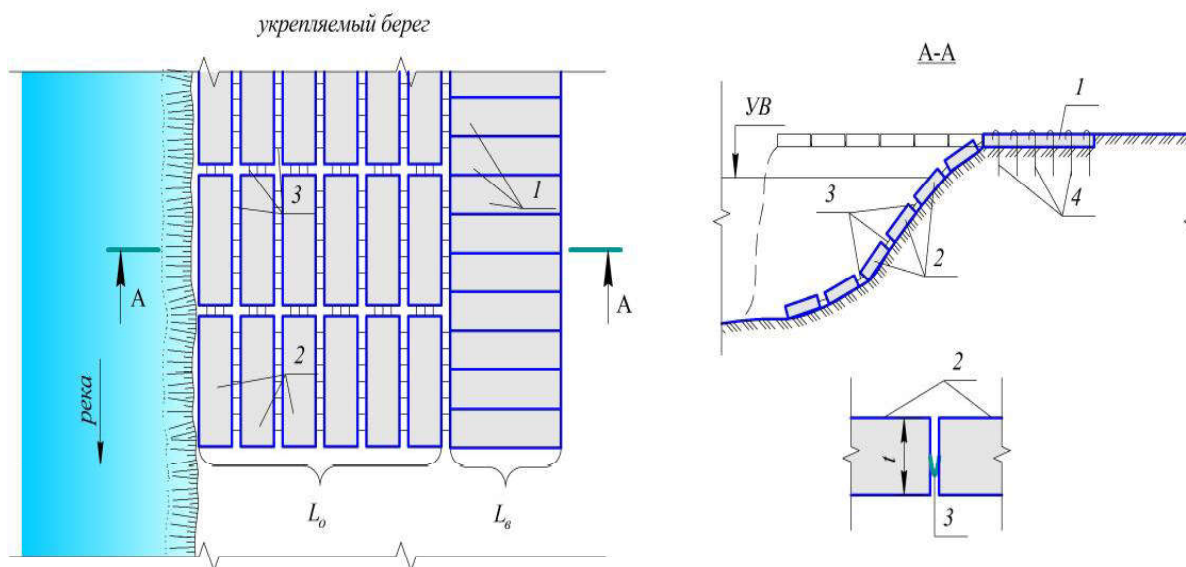


Схема раскладки и конструкции крепления / Scheme of layout and design of fastening

По предлагаемому техническому решению основным элементом являются матрасно-тюфячные габионные конструкции (далее – ГМ), которые изготавливаются заблаговременно. Возможно полное и частичное заполнение их камнем и грунтовой смесью с добавлением семян околородных растений.

Вдоль неподвижной «воротниковой» части ( $L_6$ ), перпендикулярно укрепляемому берегу, в один слой, производится укладка матрасно-тюфячных габионных конструкций (1), а матрасы откосной части ( $L_0$ ) формируются параллельно ожидаемой линии размыва берега (2). Соединение между габионами откосной части осуществляется с помощью металлического троса (3), а гибкость обеспечивается за счет соединения с зазором, равным половине толщины конструкции. Блоки неподвижной части закрепляются анкерами (4) на предварительно уплотненное грунтовое основание.

Откосная часть с помощью взаимосвязанных элементов образует целостный, наклонный гибкий каркас, который во время подмыва потока воды будет изгибаться, следуя за деформированным откосом до уровня дна. В результате размываемый берег за счет работы водного потока окажется укрепленным. Поперечный разрез укрепленного берега реки до и после подмыва и опускания откосной части также представлен на рисунке. Поверхность берега в начальный момент времени показана пунктирной линией, положение ГМ откосной части на момент укладки отмечено тонкой линией.

Характерной особенностью данного способа является то, что при гидродинамическом воздействии поводковых потоков, характеризующихся большим содержанием взвешенных веществ, будет происходить кольматация пустот в габионах. При этом возможно избежать фильтрационных деформаций в откосной части, т. к. дан-

ная часть конструкции со временем примет благоприятное для себя очертание формы в плане и станет составляющей частью местной экосистемы.

При проектировании гибкого биопозитивного берегоукрепления можно выделить некоторые основные расчеты. Для того чтобы произвести необходимые из них, для начала нужно определить основные параметры поперечного сечения рассматриваемого участка реки.

Толщина габиона ( $t$ ) (матраца Рено), согласно ОДМ 218.2.049-2015, находится по формуле

$$t = \frac{h_{1\%}}{3(1 - n_c)(\rho_k - 1)ctg\theta}, \quad (1)$$

где  $n_c$  – пористость габиона;

$\rho_k$  – плотность камня, кг/м<sup>3</sup>;

$\Theta$  – угол наклона откоса в градусах, который принимается в зависимости от классификации грунта;

$h_{1\%}$  – высота волны 1 %-ной вероятности превышения, м.

Находится по формулам:

$$h_{1\%} = 0,86 h_{Bmax}, \quad (2)$$

$$h_{Bmax} = 0,2 h, \quad (3)$$

где  $h_{Bmax}$  – максимально возможная высота волны, м;

$h$  – расчетная глубина потока, м.

Другой проблемой при строительстве продольных берегозащитных сооружений с использованием камня в качестве крепления откосов является определение устойчивого его диаметра.

Диаметр камня, заполняющего габионы, согласно ОДМ 218.2.049-2015, определяется по формуле

$$d_k = 1,2408 \sqrt{\frac{m_k}{\rho_k}}. \quad (4)$$

Далее необходимо проверить устойчивость данного камня против воздействия скорости

$$d_k = \frac{\xi v^2}{A_c 2g \left( \frac{\rho_k - \rho_o}{\rho_o} \right) \cos \theta}, \quad (5)$$

где  $m_k$  – требуемая масса камня, кг;

$\rho_o$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\xi$  – понижающий коэффициент, учитывающий связанность камней в габионе;

$v$  – средняя скорость потока, м/с;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$A_c$  – коэффициент, учитывающий устойчивость камня на откосе.

Актуальным при строительстве креплений откосов является повышение устойчивости их от сползания. Устойчивость вогнутых откосных криволинейных креплений на 30...40 % выше, чем у плоских. Причем наиболее оптимальным вариантом является постепенное увеличение угла поворота [3].

Устойчивость гибкого крепления откоса от сползания можно оценить коэффициентом устойчивости (согласно ВСН 04-71), который определяется по формулам:

$$K_{уст} = \frac{\sum F_{y\partial}}{\sum F_{с\partial\partial}}, \quad (6)$$

$$K_{уст} \geq (\gamma_n \times \gamma_k) / \gamma_c, \quad (7)$$

где  $\sum F_{y\partial}$  – сумма всех сил, удерживающих гибкое крепление от сползания;

$\sum F_{с\partial\partial}$  – сумма всех сил, сдвигающих гибкое крепление с откоса;

$\gamma_c, \gamma_n, \gamma_k$  – коэффициенты надежности по нагрузкам, которые принимаются в зависимости от используемого способа расчета и класса сооружения, согласно СП 23.13330.2012.

Проверка устойчивости крепления на откосе от волнового воздействия производится по формуле

$$K = \frac{F_y + N_c}{F_n}. \quad (8)$$

Средняя продольная сила, действующая вдоль откоса и сдвигающая отдельные элементы защитного покрытия, определяется по формуле

$$F_n = F_u \times tg\varphi. \quad (9)$$

где  $F_u$  – сила гидростатического давления на защитное покрытие, Н;

$\varphi$  – угол между касательной к направлению струи в точке приложения силы  $F_u$  и нормалью к откосу, град.

Сила, удерживающая элементы покрытия в пределах площади активного воздействия волны, определяется по формуле

$$F_y = G_g \sin \alpha + f(G_g \cos \alpha + F_n), \quad (10)$$

где  $G_g$  — вес всех матрасно-тюфячных конструкций, расположенных в пределах зон активного воздействия волны, с учетом выталкивающей архимедовой силы, Н;

$\alpha$  — угол наклона откоса к горизонту, град.;

$f$  — коэффициент трения покрытия по подстилающему слою подготовки откоса;

$N_c$  — силы, возникающие в соединительных металлических тросах от матрацев, расположенных ниже зоны активного воздействия волны:

$$N_c = G_g (\sin \alpha + f \cos \alpha). \quad (11)$$

где  $G_g$  — вес всех матрасно-тюфячных конструкций, расположенных под водой ниже зоны активного воздействия волны, Н.

Общую длину неподвижной «воротниковой» части и гибкой откосной части подбирают с таким расчетом [1], чтобы при наибольшем возможном размыве с речной стороны обеспечивалась устойчивость конструкции. Общая длина находится по формуле

$$B = Hm\sqrt{1+m^2} + H, \quad (12)$$

где  $Hm$  — наибольшая глубина потока.

**Выводы.** Предлагаемый способ позволяет укрепить размываемый берег, стабилизировать русловые деформации, в частности береговую эрозию. Данный способ предотвращает затопление паводковыми водами, а за счет применяемых биопозитивных строительных материалов в экологическом отношении является лучшим природоприближенным техническим решением.

## Список литературы

1. Алтунин С. Т. Регулирование русел. М.: Сельхозгиз, 1956.
2. Зима Ю. В. Динамика русловых процессов и влияние на нее локальных антропогенных воздействий на реке Аргунь: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 10.12.2009. Хабаровск, 2009. 40 с.
3. Ламердонов З. Г. Гибкие откосные крепления // Гидротехническое строительство. 2003. № 1. С. 39–43.
4. Объязов В. А. Энциклопедия Забайкалья. Новосибирск: Наука, 2000.
5. Патент № 2320810. Российская федерация, МКИ E02B3/12. Способ возведения крепления из габионных тюфяков в период паводков / А. А. Тутаев, С. О. Курбанов, К. С. Курбанов; заявитель — Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГОУ ВПО «КБГСХА») (RU). № 2005139448/03; заявл. 16.12.2005 г.; опубл. 27.03.2008 г.
6. Патент № 2238368. Российская федерация, МКИ E02D 17/20, E02B 3/12. Способ возведения гибкого откосного крепления / З. Г. Ламердонов; заявитель — З. Г. Ламердонов (RU). № 2003109072/03; заявл. 31.03.2003 г.; опубл. 20.10.2004 г.
7. Патент № 2317369. Российская федерация, МКИ E02B3/12. Способ крепления берегов реки / Т. Ю. Хаширова; заявитель — Т. Ю. Хаширова (RU). № 2006118597/03; заявл. 29.05.2006 г.; опубл. 20.02.2008 г.
8. Патент № 2319806. Российская федерация, МКИ E02B3/12. Способ возведения биопозитивного крепления / К. С. Курбанов, С. О. Курбанов; заявитель — Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственная фирма «Берег»» (RU). № 2006111924/03; заявл. 04.10.2006 г.; опубл. 20.03.2008 г.
9. Строительство из биопозитивных материалов: тенденции времени [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.torgprice.ru/post/1000/12/4432.phb> (дата обращения: 02.09.2017).
10. Miloslav Šlezinger, Marková Jana, Gernešová Lenka. The Effects of Selected Types of Active Bank Stabilization // Procedia Engineering. 2017. P. 653–659.
11. Robert L. Kosowski, Salih N. Neftci. Principles of Financial Engineering // Principal Protection Techniques. 2017. P. 809–826.

## References

1. Altunin S. T. *Regulirovanie rusel* (Regulation of river beds). Moscow: Sel'khozgiz, 1956.
2. Zima Yu. V. *Dinamika ruslovykh protsessov i vliyaniye na nee lokalnykh antropogennykh vozdeystviy na reke Argun: avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk: 10.12.2009* (Dynamics of channel processes and the influence

of local anthropogenic impacts on the Argun River on it: abstract. dis. ... dr. geogr. sciences: 10.12.2009). Khabarovsk, 2009. 40 p.

3. Lamerdonov Z. G. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo* (Hydrotechnical construction), 2003, no. 1, pp. 39–43.

4. Obyazov V. A. *Entsiklopediya Zabaykaliya* (Encyclopedia of Transbaikalia). Novosibirsk: Science, 2000.

5. Patent № 2320810. *Rossiyskaya federatsiya, MKI E02B3/12. Sposob vozvedeniya krepneniya iz gabionnykh tyuflyakov v period pavodkov* (Patent No. 2320810. The Russian Federation, MKI E02B3 / 12. The method of erecting a mount from gabion mattresses in the period of floods) / A. A. Tutayev, S. O. Kurbanov, K. S. Kurbanov; The applicant is the Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education “Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy” (RUE “KBGSHA”). No. 2005139448/03; claimed 16.12.2005; publ. 27.03.2008.

6. Patent № 2238368. *Rossiyskaya federatsiya, MKI E02D 17/20, E02V 3/12. Sposob vozvedeniya gibkogo otkosnogo krepneniya* (Patent No. 2238368. Russian Federation, MKI E02D 17/20, E02B 3/12. Method of erecting a flexible sloping fastening) / Z. G. Lamerdonov; applicant – Z. G. Lamerdonov (RU). No. 2003109072/03; claimed. 31.03.2003; publ. 20.10.2004.

7. Patent № 2317369. *Rossiyskaya federatsiya, MKI E02B3/12. Sposob krepneniya beregov reki* (Patent No. 2317369. The Russian Federation, MKI E02B3 / 12. Method of fixing river banks) / T. Yu. Khashirova; the applicant is T. Yu. Khashirova (RU). No. 2006118597/03; claimed 29.05.2006; publ. 20.02.2008.

8. Patent № 2319806. *Rossiyskaya federatsiya, MKI E02B3/12. Sposob vozvedeniya biopozitivnogo krepneniya* (Patent No. 2319806. Russian Federation, MKI E02B3 / 12. Method of erecting a biopositive attachment) / K. S. Kurbanov, S. O. Kurbanov; applicant – Limited Liability Company “Scientific and Production Company” Bereg “» (RU). No. 2006111924/03; claimed 04.10.2006; publ. 20.03.2008.

9. *Stroitelstvo iz biopozitivnykh materialov: tendentsii vremeni* (Construction of biopositive materials: time trends). Available at: <http://www.torgprice.ru/post/1000/12/4432.phb> (Date of access: 02.09.2017).

10. Miloslav Šlezinger, Marková Jana, Gernešová Lenka. *Procedia Engineering* (Procedia Engineering), 2017, pp. 653–659.

11. Robert L. Kosowski, Salih N. Neftci. *Principal Protection Techniques* (Principal Protection Techniques), 2017, pp. 809–826.

### Коротко об авторах

**Калужская Эльвира Ильсовна**, аспирант, кафедра водного хозяйства и инженерной экологии, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: экология, гидротехническое строительство [fsk\\_elvira@mail.ru](mailto:fsk_elvira@mail.ru)

**Босов Максим Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры водного хозяйства и инженерной экологии, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: экология, гидротехническое строительство [max\\_bosov@mail.ru](mailto:max_bosov@mail.ru)

### Briefly about the authors

**Elvira Kaluzhskaya**, postgraduate, Water Management and Engineering Ecology Department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: ecology, hydrotechnical construction

**Maxim Bosov**, candidate of technical sciences, assistant professor, Water Management and Engineering Ecology Department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: ecology, hydrotechnical construction

### Образец цитирования

*Калужская Э. И., Босов М. А. Способ возведения гибкого биопозитивного берегоукрепления // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 1. С. 4–9. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-1-4-9.*

*Kaluzhskaya E., Bosov M. The method of erecting a flexible biopositive bank protection // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 4–9. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-1-4-9.*

Статья поступила в редакцию: 01.12.2017 г.  
Статья принята к публикации: 30.01.2018 г.