

Оригинальная статья

УДК 502/504:551.311.21

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-118-123

## ИЗУЧЕНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ПЛАНОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РУСЕЛ

**СОКОЛОВА СВЕТЛАНА АНАТОЛЬЕВНА** , канд. техн. наук, доцент

sokolovasvetlana@mail.ru

**БАКШТАНИН АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

bakshtanin@mail.ru

**БЕГЛЯРОВА ЭВЕЛИНА СУРЕНОВНА**, канд. техн. наук, профессор

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Прынишникова, 19, Россия

*Цель исследований – изучение причин образования внезапных катастрофических размывов и обрушений берегов потоком и разработка методов борьбы. Представлены результаты исследований процессов интенсивной плановой деформации русел, образующихся в результате размывов и обрушений берегов потоком. Приводится обоснование прогнозирования руслоформирующей деятельности потока и управления им. Дается обобщение методов борьбы с интенсивным обрушением берегов рек, организации и технологии строительства с получением надежности, экономической эффективности и экологической чистоты. Для проведения русловыправительных работ на реках, протекающих на засушливой территории, можно использовать конструкцию прорези, при устройстве которой должны быть наименьший угол подхода динамической оси основного потока, наибольшее падение отметок начала и конца прорези, короткая и прямая трасса его и минимальный объем земляных работ. При оценке влияния плановой деформации на устойчивость русла представлены формула для расчета глубины размыва, безразмерные критерии, определяющие возможность образования размывов для различных ситуаций, что позволило выбрать типы и конструкции берегозащитных сооружений.*


**Ключевые слова:** русловые процессы, плановые деформации русла, глубина размыва, гряда, диаметр частиц грунта, местная скорость, неразмываемая скорость, берегозащитные сооружения

**Формат цитирования:** Соколова С.А., Бакштанин А.М., Беглярова Э.С. Изучение русловых процессов и плановых деформаций русел // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 118-123. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-118-123

© Соколова С.А., Бакштанин А.М., Беглярова Э.С., 2022

Original article

## STUDY OF CHANNEL PROCESSES AND PLANNED DEFORMATIONS OF CHANNELS

**SOKOLOVA SVETLANA ANATOLJEVNA** , candidate of technical sciences, associate professor

sokolovasvetlana@mail.ru

**BAKSHANIN ALEXANDER MIKHAILOVICH**, candidate of technical sciences, associate professor

bakshtanin@mail.ru

**BEGLYAROVA EVELINA SURENOVNA**, candidate of technical sciences, professor

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19, Russia

*This paper presents the results of studies of the processes of intense planned deformation of the channels, which are formed as a result of erosion and collapse of the banks by the flow. The substantiation of forecasting the channel-forming activity of the flow and its management is given. A generalization is given of the methods of combating the intensive collapse of river banks, the organization and technology of construction with obtaining reliability, economic efficiency and environmental cleanliness. To carry out channel straightening work on rivers flowing in arid areas, it is possible to use the design of a cut, which should have the smallest approach angle of the dynamic axis of the main flow, the greatest drop in the marks of the beginning and end of the cut, its short*

and straight route and the minimum amount of excavation. When assessing the effect of planned deformation on the stability of the channel, a formula is presented for calculating the depth of erosion, dimensionless criteria that determine the possibility of formation of erosion for various situations, which made it possible to select the types and designs of bank protection structures.

**Keywords:** channel processes, planned channel deformations, erosion depth, ridge, soil particle diameter, local velocity, non-erosion velocity, bank protection structures

**Format of citation:** Sokolova S.A., Bakshtanin A.M., Beglyarova E.S. Study of channel processes and planned deformation of channels // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 4. – S. 118-123. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-118-123.

**Введение.** Развитие подходов к решению проблемы комплексного освоения засушливых территорий является составной частью научно-технического прогресса. С аридными территориями, где имеются богатейшие залежи нефти, газа и минерального сырья, связаны интересы развития не только сельского хозяйства, но и промышленности. Поэтому исследования взаимодействия человека с засушливыми территориями, установление закономерностей возможных изменений, разработка мероприятий по борьбе с негативными явлениями, расчет и прогнозирование, сохранение и улучшение экологического состояния окружающей среды имеют исключительно важное значение.

В гидротехническом строительстве влияние человека на природу особо ощутимо ввиду возведения плотин, строительства водохранилищ, гидроэлектростанций, прокладки каналов и т.д. Для своевременного прогноза возможных отрицательных влияний различных сооружений на экологическую обстановку требуются изучение гидравлики потока и расчеты его воздействия на размываемое русло [1].

Крупной проблемой мелиоративного и гидротехнического строительства на засушливых и пустынных территориях является борьба с интенсивной деформацией русел, с которой могут быть связаны внезапный катастрофический размыв и обрушение берегов потоком [2]. Например, известен ряд случаев ежегодного смыва сотни гектаров плодородных земель, разрушение оросительных каналов, гидротехнических сооружений, зданий, дорог, мостов.

**Цель исследований:** изучение причин образования внезапных катастрофических размывов и обрушений берегов потоком и разработка методов борьбы. Для достижения цели решались следующие задачи: установление закономерностей русловых процессов на реках с подвижными русловыми образованиями и деформацией русла; обоснование причин образования размывов, гидравлики потока в его зоне и условий дальнейшего его развития; разработка мероприятий по локализации или полной ликвидации размывов.

**Материалы и методы исследований.** Экспериментальными и натурными исследованиями руслоформирующих процессов и разработкой теории занимались многие отечественные и зарубежные ученые: С.Х. Абальянц, В.С. Алтунин, С.Т. Алтунин, Н.Б. Барышников, М.А. Великанов, К.В. Гришанин, Г.В. Железняков, Ю.А. Ибад-заде, В.С. Лаппенков, И.И. Леви, Ц.Е. Мирцхулава, И.В. Попов, Е.К. Рабкова, И.Л. Розовский, Б.И. Студеничников, Р.С. Чапов, Д.В. Штеренлихт и др.

В связи с тем, что русла рек формируются при определенных условиях, связанных с различным геологическим положением рельефом местности, гидрологическим режимом рек, русловой процесс можно объяснить как взаимосвязь формы русла и потока воды. При этом устойчивыми могут быть русла, в которых не происходят изменения гидравлического режима, а структура потока может стабилизироваться.

При плановых деформациях русел местные размывы могут возникать по причине образования и медленного движения крупных скоплений песка, называемых грядами, которые служат причиной размывов берегов при изменении скоростей потока. От величины гряды будет зависеть интенсивность подмыва и обрушения берега [2].

Анализ многочисленных исследований показывает, что при набегании потока на гряду образуется заметный свал поверхностных течений к берегу, которые непосредственно воздействуют на берег и вызывают его размыв. Продукты размыва подхватываются вальцом за тыловой частью гряды и выносятся в зону транзитного потока. При этом происходит некоторое выполаживание общего уклона берега. Активная область размыва берега по высоте отражает высотное положение гребня гряды. На уровне гребня образуется стабильная площадка размыва, на которой создается интенсивный водоворот. По мере размыва берега водоворот у берега приобретает все большее значение, размывая и вынося размывтый грунт из этой зоны. С изменением высоты гребня гряды изменяется высотное положение площадки размыва [3].

Критериями, определяющими возможность образования плановых деформаций русел, является наличие динамического воздействия отдельной струи на берег на прямом участке русла, вызываемое береговой грядой, выраженное формулой 1 (рис. 1) [4].

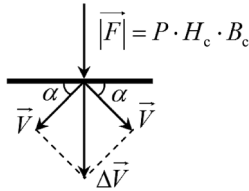


Рис. 1. Схема динамического воздействия струи на берег

Fig. 1. Scheme of the dynamic impact of the flow on the shore

$$\text{Поскольку } \Delta(m \cdot \bar{V}) = \bar{F} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где  $\Delta m = \rho \cdot B_c \cdot H_c \cdot V \cdot \Delta t$ ,  $\Delta V = 2V \cdot \sin \alpha$ ,  $F = \rho \cdot B_c \cdot H_c$ ,  $H_c, B_c$  – глубина и ширина струи,  $\rho$  – плотность воды.

Зная  $V = C \cdot \sqrt{H_c \cdot i_c}$ , где  $C = \frac{1}{n} \cdot H^{1/6}$  – коэффициент Шези;  $n$  – шероховатость поверхности, получим [5]:

$$V^2 = \frac{1}{n^2} \cdot H_c^{1/4} \cdot i_c; \quad (2)$$

$$\rho \cdot B_c \cdot H_c \cdot V \cdot \Delta t \cdot 2V \cdot \sin \alpha = \rho \cdot B_c \cdot H_c \cdot \Delta t; \quad (3)$$

$$P = 2\rho \cdot V^2 \cdot \sin \alpha = 2\rho \cdot \sin \alpha \cdot \frac{H_c^{1/4} \cdot i_c}{n^2}. \quad (4)$$

Гидростатическое давление равно

$$P_{г.с.} = 2g \cdot \rho \cdot H_c. \quad (5)$$

Отношение  $\frac{P}{P_{г.с.}} = \frac{2\rho \cdot \sin \alpha \cdot H_c^{1/4} \cdot i_c}{n^2 \cdot \rho \cdot 2g \cdot H_c}$  можно упростить, если принять  $1/g \approx 0,1$  и обозначить  $K = \sin \alpha / n^2$ . Расчеты показывают, что эта величина будет больше единицы при значении  $i_c > 0,001$ . При этом ударное давление многократно превышает статическое, а соответствующее ему касательное  $\tau$  соответственно резко возрастает, приводя к интенсивному размыву и обрушению.

Соотношение между параметрами потока, сопутствующего образованию плановых деформаций на повороте русла, представлено на рисунке 2.

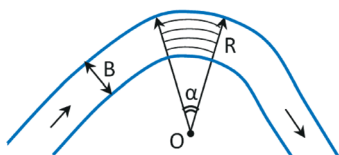


Рис. 2. Схема участка поворота русла

Fig. 2. Diagram of the channel turning section

Площадь заштрихованного участка русла представляет собой часть кольца с внешним радиусом  $R$  и внутренним  $R-B$  и равна:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot \alpha}{2\pi} \cdot [R^2 - (R-B)^2] = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot B \cdot (2R-B). \quad (6)$$

Известно, что

$$m = \rho \cdot S \cdot H = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \alpha \cdot B \cdot H \cdot (2R-B). \quad (7)$$

Выделенный объем участвует в круговом движении, поэтому на него действует центробежная сила  $(m \cdot V^2) / R = P \cdot \Delta S$  за счет реакции со стороны вогнутого берега  $P \cdot \Delta S$ , где  $P$  – добавочное давление к гидростатическому  $P_{г.с.}$ ;  $\Delta S$  – площадь смоченного участка выпуклого берега.

С учетом того, что  $\Delta S = H_{вогн.} \cdot R \cdot \alpha$ ,  $P_{г.с.} = H_{вогн.} \cdot \rho \cdot g$ , где  $g$  – ускорение свободного падения;  $H_{вогн.}$  – глубина воды у вогнутого берега, критерий возможного нарушения устойчивости берегового откоса  $P > P_{г.с.}$  является:

$$\frac{V \cdot B \cdot H \cdot (2-B/R)}{g \cdot H_{вогн.}^2 \cdot R} > 1, \text{ или } Fr \left( \frac{H}{H_{вогн.}} \right)^2 \cdot \left( \frac{B}{R} \right) \cdot \left( 2 - \frac{B}{R} \right) > 1. \quad (8)$$

Исследованиями ряда авторов установлено, что на повороте русла происходит перестройка кинематической и динамической структуры потока: появляются поперечный уклон свободной поверхности воды и поперечная циркуляция, а плановые профили претерпевают существенные изменения.

На рисунке 3 представлены изменения плановых эпюр скоростей на повороте русла при смещении сечения к выходу из поворота по результатам расчетов И.Л. Розовского:  $V' = V / V_{cp}$ , где  $V$  – средняя скорость на местной вертикали;  $V_{cp}$  – средняя скорость на осевой вертикали в начальном сечении [6]:

$$\Theta = \frac{1,5 \cdot \sqrt{g} \cdot \alpha \cdot h_{max}}{K^3 \cdot C \cdot B}, \quad (9)$$

где  $K$  – константа Кармана;  $\alpha$  – угол смещения живого сечения на входе в поворот.

Определяющее динамическое воздействие на русло на повороте дает резкое увеличение скоростей на вертикали вблизи вогнутого берега на выходе из поворота ( $y_1 = 0,6-0,7$ ).

Фактическая скорость является функцией двух параметров:  $\Theta_1$  и  $y_1$ . Зависимость величины максимальной относительной скорости  $V'$  от параметра  $\Theta_1$  можно записать как

$$V'_{max} = (1 - 8,2 \cdot 10^{-4} \cdot \Theta_1 + 4,166 \cdot 10^{-4} \cdot \Theta_1^2) \cdot V_{cp}. \quad (10)$$

Резкое повышение максимальной локальной скорости значения неразмывающей скорости способствует усилению размывов вблизи вогнутого берега и может интенсифицировать обрушения при плановой деформации русел.

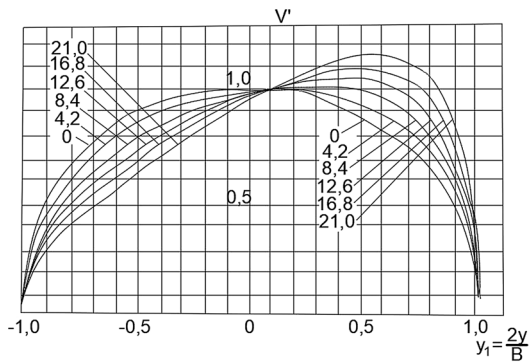


Рис. 3. Плановые эпюры скоростей на закруглении параболического сечения (по И.Л. Розовскому)

Fig. 3. Planned velocity plots on the rounding of the parabolic section (according to I.L. Rozovsky)

Рассмотрим схему образования плановых деформаций русла. С развитием процесса перестроения русла образуются самостоятельные крупные прибрежные гряды, увеличивающиеся по причине обрушения берегов (рис. 4а). Продольные скорости начинают возрастать к оси потока, а гряда принимает наклонное положение

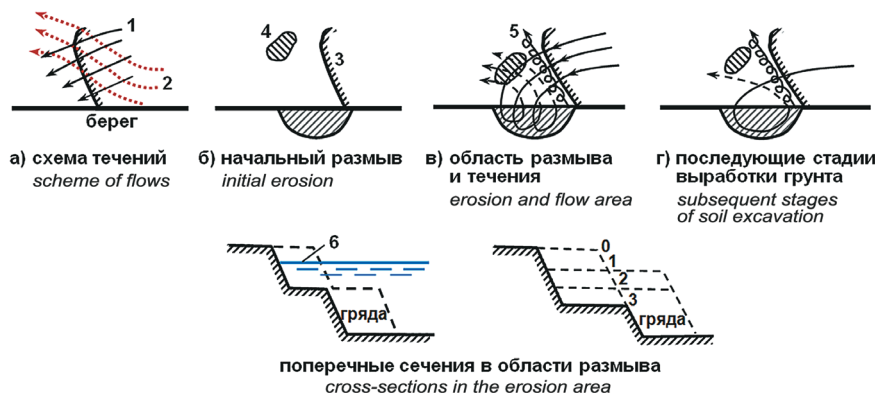


Рис. 4. Общая гидравлическая схема образования плановой деформации русла: 1 – поверхностные течения; 2 – придонные течения; 3 – гребень гряды; 4 – область размыва; 5 – горизонтальный валец за грядой; 6 – область водоворота

Fig. 4. General hydraulic scheme of formation of planned deformation of the channel: 1 – surface currents; 2 – bottom currents; 3 – ridge crest; 4 – erosion area; 5 – horizontal roller behind the ridge; 6 – whirlpool area

Внизу наклонившейся гряды вблизи берега образуется винтообразный валец, который движется от берега к середине реки, перенося частицы грунта. Берег реки становится вертикальным или с обратным уклоном, далее происходит обрушение грунта, и весь процесс повторяется. Непрерывный взаимный обмен масс жидкости между транзитным потоком и водоворотной областью в зоне деформации русла поддерживается благодаря возникновению цепочки вихрей на их границе.

Формулу для определения глубины размыва  $H_p$  можно представить в следующем виде [7]:

в плане, что способствует интенсивному размыву берегов в нижнем течении. При достаточно быстром движении гряды может возникать размыв берега на большом протяжении, что приведет к равномерному увеличению ширины русла. Если же движение гряды медленное, то могут образовываться местные размывы – дейгиши.

При наличии в русле гряды, примыкающей к берегу, возникает сжатие потока, особенно в его нижнем слое. Поток, обтекая гряду, создает значительные размывы за ней (рис. 4б). В верхних слоях, ближе к поверхности воды, поток, проходя над гребнем гряды, начинает отклоняться к берегу и размывать его. Такие размывы будут иметь характерную форму дейгиша (рис. 4в).

В береговой зоне начинает возникать водоворот, который в первое время служит причиной выноса частиц грунта из размываемой зоны. Далее водоворот начинает смещать транзитное течение от берега, скорость увеличивается, что приводит к дальнейшему размыву и выносу грунта из области размыва. Также происходит размыв гряды в высоту. Все это приводит к последующей стадии выработки грунта (рис. 4г).

$$\frac{H}{H_p} = A \cdot \left( \frac{V_m}{\sqrt{gW}} \right)^{0,3} \cdot \left( \frac{d}{H_m} \right)^{0,06} \cdot \sin \alpha, \quad (11)$$

где  $A$  – параметр, зависящий от условий размыва и изменяющийся в пределах  $A = 4,5 \dots 4,9$ ;  $H$  – средняя глубина размыва;  $\alpha = 90^\circ$  – угол атаки потока при неблагоприятной ситуации;  $V_m$  – местная скорость размыва;  $W$  – гидравлическая крупность размываемого грунта;  $d$  – диаметр частиц грунта.

**Результаты и их обсуждение.** При обосновании комплекса мероприятий для локализации деформации русла принимались во внимание следующие критерии.

1. При разработке мер в зоне деформации русла необходимо добиться изменения гидравлики

потока, а именно: убрать примыкание потока к берегу на начальном этапе деформации русла; убрать водоворотные течения в самом русле; создать положительные условия, способствующие отложению наносов в воронке деформации русла [5].

2. Проектируемые сооружения должны быть легкими, подвижными, маневренными и недорогими для возможности перемещения их на другое место, что позволит изменять конструктивные параметры таких сооружений. Например, для локализации и ослабления водоворота в зоне интенсивной плановой деформации русла может быть устроена низовая шпора, устанавливаемая вдоль потока от нижнего угла деформации русла. Для создания донных токов из канала в эту часть русла и одновременно изоляции верхней по течению части водоворота от транзитного потока целесообразна установка верхней шпоры, имеющей донную щель, под углом к течению. Для устранения образовавшихся поверхностных потоков следует проводить землечерпательные работы по удалению скоплений песка в районе возникновения деформаций русла [8-10].

Влияние низовой шпоры на кинематику донного и поверхностного течения сказывается на уменьшении водоворота в зоне размыва и понижении интенсивности размыва берега. За сооружением образуется местный водоворот с малыми скоростями вращения, где наблюдается выпадение наносов.

Для правильного размещения сооружений необходимо установить расчетным путем план течений в районе деформации с контурами водоворота в пределах воронки размыва и допустимую по грунтовым условиям величину донной щели. Для проведения русловыправительных работ на реках, протекающих на засушливой территории, можно использовать конструкцию прорези, изображенную на рисунке 5 [11].

Суть сооружения заключается в том, что для активации процесса саморазмыва прорези в его начальной части ширина русла выполняется в 1,8-2 раза больше, чем в самой прорези и без уклона дна. Длина этой расширенной части в голове составляет 1/3 общей длины прорези, а нижние 2/3 прорези зауженные, с повышенным уклоном. Такое искусственное увеличение уклона воды в зауженной нижней части способствует активации размыва.

Анализируя положительные и отрицательные свойства применяемых берегозащитных и регуляционных сооружений с учетом динамики размыва в легких грунтах русла, в качестве противодеформационного сооружения можно использовать гибкий туюфак и другие виды укрепления откосов. Туюфаки наполняются местным

песчаным грунтом, а в качестве полотнища возможно применение нетканого материала [12].

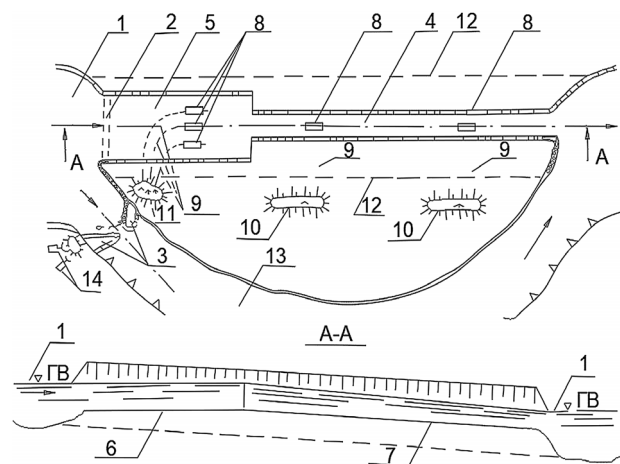


Рис. 5. Способ спрямления русла и устройство для его осуществления:

- 1 – река; 2 – временная перемычка;
- 3 – постоянная перемычка перекрытия основного русла реки; 4 – зауженная часть прорези;
- 5 – расширенная часть прорези;
- 6 – безуклонная часть дна; 7 – дно прорези с повышенным уклоном; 8 – земснаряды;
- 9 – пульпопроводы; 10 – дамба обвалования;
- 11 – резерв грунта; 12 – граница размыва прорези;
- 13 – участок реки, подверженный размыву;
- 14 – бульдозеры, экскаваторы

Fig. 5. Method of straightening the channel and the device for its implementation:

- 1 – river; 2 – temporary jumper; 3 – a permanent jumper of the overlap of the main channel;
- 4 – narrowed part of the slot; 5 – extended part of the slot;
- 6 – the bottom part with no slope; 7 – the bottom of the slot with an increased slope; 8 – dredgers;
- 9 – slurry pipelines; 10 – collapse dam; 11 – soil reserve;
- 12 – slot erosion boundary; 13 – a section of the river subject to erosion; 14 – bulldozers and excavators

## Выводы

1. Проведенные исследования плановых деформаций русел позволят оценивать их образование и внедрять меры и сооружения для борьбы с ней. Это необходимо для решения хозяйственных проблем и разработки различных инженерных задач, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией мелиоративных, гидротехнических и энергетических, водохозяйственных систем.

2. Комплексные исследования плановых деформаций русел позволили выявить закономерности движения взвешенного потока, установить связь этого явления с руслоформирующей деятельностью потока, выявить факторы, влияющие на это явление. Для устранения подмыва и обрушения берегов необходимо изменить кинематику потока (убрать водоворот, поменять направление донных течений, снизить скорости).

3. Для решения проблем защиты берегов рек, борьбы с плановыми деформациями могут быть использованы экологически чистые и эффективные сооружения (например, струенаправляющие плавучие сооружения, которые используют энергетические возможности самого потока). Они выполняются как сборно-разборные для удобства транспортировки и многократного повторного использования, для снижения эксплуатационных затрат.

4. С целью дальнейшего значительного снижения затрат на берегозащитные работы

#### Библиографический список

1. Водохозяйственные системы и водопользование. Учебник для направлений подготовки: Учебник / А.М. Бакштанин, Э.С. Беглярова, С.А. Соколова и др.; Под общ. ред. проф. Л.Д. Ратковича, проф. В.Н. Маркина. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 452 с. ISBN978-5-16-014286-9.
2. Барышников Н.Б. Руслевые процессы. – СПб.: РГГМУ, 2008. – 439 с. ISBN5-86813-176-2.
3. Беглярова Э.С., Дмитриева А.В., Соколова С.А. Исследование заилиenia подпёртых бьёфов малых водохранилищ на горно-предгорных реках // Природообустройство. – 2015. – № 1. – С. 41-47.
4. Брянская Ю.В., Маркова И.М., Остякова А.В. Гидравлика водных и взвешенных потоков в жестких и деформируемых границах: Монография / Под ред. В.С. Боровкова. – М.: Изд-во АСУ, 2009. – 264 с.
5. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2005. – 655 с. ISBN5-9532-0142-7.
6. Розовский И.Л. Движение воды на повороте открытого русла / Академия наук Украинской ССР; Институт гидрологии и гидротехники. – Киев: Изд-во Академии наук УССР, 1957. – 188 с.
7. Руководство по определению допустимых неразмывающих скоростей водного потока для различных грунтов при расчете каналов. – М.: Минводхоз, 1981. – 57 с.
8. Крутов Д.А. Гидротехнические сооружения: Учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2020. – 238 с. ISBN978-5-534-12898-7.
9. Гидротехнические сооружения (речные): Учебник для вузов: В 2 ч. Ч. 1 / Л.Н. Рассказов и др. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 581 с.
10. Гидротехнические сооружения (речные): Учебник для вузов: В 2 ч. Ч. 2. / Л.Н. Рассказов и др. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 533 с.
11. А.С. SU1687708 A1. E 02 B 3/02. Пионерная прорез для выправления русла открытого водотока / Сарыев Д.С., Галифанов Г.Г. Заяв. (21)4656834/15, дата регистрации (22)28.02.89, дата публикации (46)30.10.91. Бюл. № 40 (71). Туркменский НИИ гидротехники и мелиорации и Туркменский институт организации и технологии водохозяйственного строительства.
12. Облицовка канала. Пат. № 2251606, МПК, E02B5/02, B02E3/16 / Гурьев А.П., Беглярова Э.С., Соколова С.А. / Заяв. RU2003128901/03A от 29.09.2003. Патентообладатель МГУП, Москва, Оpubл. 10.05.2005. Бюл. № 13.

#### Критерии авторства

Соколова С.А., Бакштанин А.М., Беглярова Э.С. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья поступила в редакцию 30.05.2022

Одобрена после рецензирования 12.09.2022

Принята к публикации 19.09.2022

на реках можно использовать конструкцию гибких тюфяков, препятствующих размыву. Такая конструкция является экологически чистой.

5. Совокупность имеющихся различных теоретических и экспериментальных исследований и полученных рядом авторов результатов, обобщенных в статье, позволяет решить крупную и важную народнохозяйственную проблему защиты берегов рек и создать базу для проектирования новых, экологически чистых и эффективных берегозащитных сооружений.

#### References

1. Vodohozyajstvennye sistemy i vodopolzovanie. Uchebnik dlya napravleniya podgotovki: uchebnik / A.M. Bakshtanin, E.S. Beglyarova, S.A. Sokolova [I dr.]; pod obshch. red. prof. L.D. Ratkovich i prof. V.N. Markina. – M.: INFRA-M, 2019. – 452 s. – ISBN978-5-16-014286-9.
2. Baryshnikov N.B. Ruslovyje protsessy. – SPb.: RGGMU, 2008. – 439 s. ISBN5-86813-176-2.
3. Beglyarova E.S., Dmitrieva A.V., Sokolova S.A. Issledovanie zaileniya podpertyh bjefov malyh vodohranilishch na gorno-predgornyh rekah. // Prirodobustrojstvo. – 2015. – № 1. – S. 41-47.
4. Bryanskaya Yu.V., Markova I.M., Ostyakova A.V. Gidravlika vodnyh i vzvesenesushchih potokov v zhestkih i deformiruemyh granitsah / Pod redaktsiej V.S. Borovkova: monografiya. – M.: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitnyh vuzov, 2009. – 264 s.
5. Shterenlikht D.V. Gidravlika: uchebnik. 3-e izd., pererab. i dop. – M.: KolosS, 2005. – 655 s. ISBN5-9532-0142-7.
6. Rozovsky I.L. Dvizhenie vody na povorote otkrytogo rusla [Tekst] / Akad. nauk Ukr. SSR. In-t gidrologii i gidrotehniki. – Kiev: Izd-vo Akad. Nauk USSR, 1957. – 188 s.
7. Rukovodstvo po opredeleniyu dopustimyh nerazmyvayushchih skorostej vodnogo potoka dlya razlichnyh grunтов pri raschete kanalov. – M.: Minvodhoz, 1981. – 57 s.
8. Krutov D.A. Gidrotehnicheskie sooruzheniya: uchebnoe posobie dlya vuzov / D.A. Krutov. – M.: Izdatelstvo Yurait, 2020. – 238 s. ISBN978-5-534-12898-7.
9. Krutov D.A. Gidrotehnicheskie sooruzheniya (rechnye): uchebnik dlya vuzov: v 2 ch. Ch. 1. / L.N. Rsskazov i dr. – M.: Izd-vo ASV, 2011. – 581 s.
10. Gidrotehnicheskie sooruzheniya (rechnye): uchebnik dlya vuzov: v 2 ch. Ch. 1. / L.N. Rsskazov i dr. – M.: Izd-vo ASV, 2011. – 533 s.
11. A. C. SU1687708 A1. E 02 B 3/02. Pionernaya prorez dlya vypravleniya rusla otkrytogo vodotoka [Tekst] / Sar'yev D.S., Galifanov G.G. zayavka (21)4656834/15, data registratsii (22)28.02.89, data publikatsii (46)30.10.91. Byul. № 40 (71) Turkmensky NII gidrotehniki i melioratsii i Turkmensky institut organizatsii i tehnologii vodohozyajstvennogo stroitelstva.
12. Oblitsovka kanala. Pat. № 2251606, MPK, E02B5/02, B02E3/16 // Gurjev A.P., Baglyarova E.S., Sokolova S.A. / Zayavka RU2003128901/03A. ot 29.09.2003. patentoobladatael – MGUP Moskva, Opublikovano: 10.05.2005 Byul. № 13.

#### Criteria of authorship:

Sokolova S.A., Bakshtanin A.M., Beglyarova E.S. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Sokolova S.A., Bakshtanin A.M., Beglyarova E.S. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 30.05.2022

Approved after reviewing 12.09.2022

Accepted for publication 19.09.2022