

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 626.88

Гидравлический расчет трактов рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов с пойменно-руслowym поперечным сечением

Алексей Викторович Шевченко¹, Виктор Николаевич Шкура²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

²VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Аннотация. Цель: разработка конструктивных решений и методик гидравлического расчета трактов рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов полигональной формы поперечного сечения. **Материалы и методы.** Основу настоящего исследования составили: сведения, полученные по результатам анализа известных и авторских предложений по конструктивному исполнению и методикам расчета трактов каналов; материалы рыбоводно-биологического обоснования проектов каналов, функционирующих в составе Нижне-Донских гидроузлов. **Результаты.** Установлена необходимость формирования (разработки) предложений по конструктивным решениям и методикам гидравлического расчета пойменно-руслowych трактов рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов. Предложено два варианта конструктивного исполнения трактов, характеризующихся односторонней (относительно русла) одно- и двухступенчатой формой поймы. Разработанные конструкции обеспечивают формирование в акватории канала разных по глубинам и скоростям течения зон перемещения и нереста рыб. С учетом особенностей форм поперечного сечения трактов каналов и сформулированных ихтиологических требований к их устройству, разработаны соответствующие методики гидравлического расчета и проведена их численная апробация. Особенностью предложенных методик является внедрение в их состав расчетных зависимостей, учитывающих рыбоводческие требования создания трактов каналов. **Выводы.** Установлена целесообразность устройства трактов рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов с полигональной (пойменно-русловой) формой поперечного сечения. Разработаны конструктивные схемы и методики гидравлического расчета трактов каналов пойменно-руслowego поперечного сечения с односторонней одно- и двухступенчатой поймой.

Ключевые слова: миграция рыб, нерест рыб, рыбоходный канал, рыбоходно-нерестовый канал, тракт канала, гидравлический расчет полигонального тракта канала

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 27 октября 2023 г.).

Для цитирования: Шевченко А. В., Шкура В. Н. Гидравлический расчет трактов рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов с пойменно-руслowym поперечным сечением // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 300–309.

MODERN PROBLEMS OF LAND RECLAMATION AND WATER INDUSTRIAL COMPLEX AND WAYS TO SOLVE THEM

Original article

Hydraulic calculation of fish pass and fish passing-spawning channel tracts with floodplain-bed cross-section

Alexey V. Shevchenko¹, Viktor N. Shkura²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk,
Russian Federation

¹rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

²VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Abstract. Purpose: development of design solutions and methods for hydraulic calculation of fish pass and fish passing-spawning channel tracts of a cross-sectional polygonal shape. **Materials and methods.** The basis of this study was: information obtained from the analysis of well-known and original proposals on design and methods of calculating channel tracts; materials for fish farming and biological substantiation of channel projects operating as part of the Lower Don waterworks. **Results.** The need for the formation (development) of proposals for design solutions and methods of hydraulic calculation of floodplain-bed tracts of fish pass and fish passing-spawning channels has been determined. Two options for the structural design of tracts characterized by a one-sided (relative to the bed) single and two-stage floodplain shape are proposed. The developed structures ensure the formation of fish movement and spawning zones of different depths and flow speeds in the channel water area. Taking into account the peculiarities of the cross-section shapes of channel tracts and the formulated ichthyological requirements for their design, the appropriate hydraulic calculation methods were developed and their numerical testing was carried out. A feature of the proposed methods is the introduction of calculated dependencies that take into account the fishery requirements for creating channel tracts, into their composition. **Conclusions.** The feasibility of constructing fish pass and fish passing-spawning channels with a polygonal (floodplain-bed) cross-sectional shape has been established. Design schemes and methods for hydraulic calculation of channel tracts of floodplain-bed cross-section with one-sided single- and two-stage floodplains have been developed.

Keywords: fish migration, fish spawning, fish passage channel, fish passing-spawning channel, channel track, hydraulic calculation of the polygonal channel tract

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “Modern problems of land reclamation and water industrial complex and ways to solve them” (Novochoerkassk, October 27, 2023).

For citation: Shevchenko A. V., Shkura V. N. Hydraulic calculation of fish pass and fish passing-spawning channel tracts with floodplain-bed cross-section. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2023;91(3):300–309. (In Russ.).

Введение. Разработка эффективных компоновочно-конструктивных решений рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов предусматривает решение задачи по выбору оптимальной формы поперечного сечения их трактов, формирующих благоприятные условия для прохода и нереста различных видов рыб. Несмотря на широкую практику устройства таких каналов с трапецеидальными трактами [1–5], научно обоснована и доказана

необходимость перехода к их полигональным (пойменно-русовым) формам поперечных профилей, обеспечивающих возможность формирования в акватории каналов условий для перемещения и нереста рыб с различными биологическими требованиями к условиям их воспроизводства [6]. Материалы анализа сведений и предложений по конструкциям таких трактов, приведенных в работах А. А. Чистякова и др., Вл. Н. Шкуры [7–9], позволили установить необходимость разработки методик их гидравлического расчета, учитывающих требования к формированию благоприятных условий (по ширинам, глубинам, скоростям течения, нерестовому обустройству) в каналах для перемещения и нереста различных видов рыб. При этом, с учетом широкого разнообразия гидрографических условий устройства и эксплуатации таких каналов, приобретает актуальность расширение имеющейся базы конструктивных разработок поперечных сечений (профилей) их трактов.

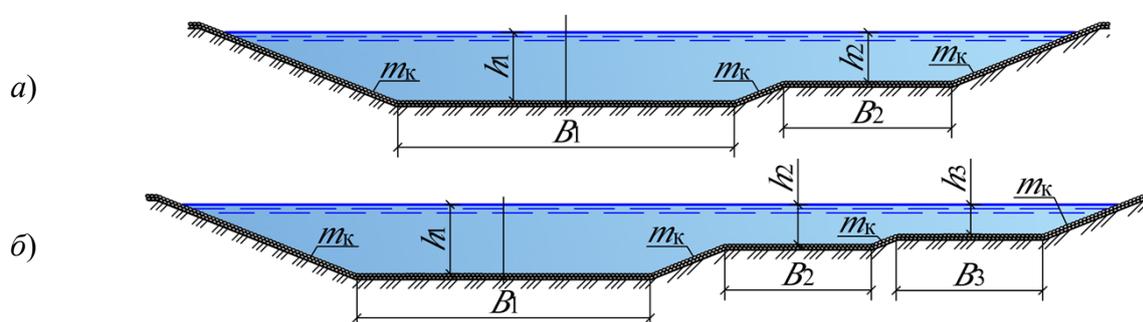
Цель исследования – разработка конструктивных решений и методик гидравлического расчета трактов рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов, характеризующихся полигональным (пойменно-русовым) поперечным профилем (очертанием).

Материалы и методы. В основу исследования положены: данные рыбоводно-биологического обоснования проектов рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов, известные и авторские сведения по проектированию и расчету трактов каналов.

Результаты и их обсуждение. Исходными данными при проектировании пойменно-русовых трактов рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов служат: сведения ихтиологического (о количестве и размере мигрирующих по реке особей рыб, их видовом разнообразии, скоростях их плавания и нереста, предпочитаемом виде нерестового субстрата) характера; гидрологические характеристики реки, осредненные за многолетний период в отрезке нерестового хода приоритетных видов рыб (значения уровней и расходов воды по нижнему и верхнему бьефам); топографическая карта местности; сведения о расположении и условиях работы дей-

ствующих сооружений гидроузла и других объектов. С учетом полученных данных определяются гидрометрические параметры тракта канала и осуществляется его дальнейшее конструирование.

Обеспечение разных по глубине и скорости условий для перемещения и нереста рыб (при их низком видовом разнообразии в реке) осуществляется посредством устройства поперечного профиля тракта канала в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1а, а при увеличении биоразнообразия – по рисунку 1б.



а – с одноступенчатой поймой; б – с двухступенчатой поймой;
 m_k – заложение откосов тракта канала; B_1, h_1 – ширина и глубина русла по дну, м;
 B_2, B_3, h_2, h_3 – ширины и глубины первой и второй ступеней поймы по дну, м
а – with a single-stage floodplain; б – with a two-stage floodplain;
 m_k – canal tract slope ratio; B_1, h_1 – width and depth of the channel along the bed, m;
 B_2, B_3, h_2, h_3 – width and depth of the first and second stages of floodplain along the bed, m

Рисунок 1 – Схемы пойменно-русловых трактов каналов

Figure 1 – Schemes of floodplain-bed channel tracts

Ширина русла канала по дну B_1 принимается из условия обеспечения минимальных размеров жизненного акваториального пространства для рыб (в зависимости от количества и размера особей, плотности их нерестовых стад и т. д.). Размеры B_2 и B_3 пойменных частей тракта устанавливаются на уровне 40–50 % от ширины русла B_1 , а значения глубин h_1, h_2, h_3 – исходя из требований обеспечения предпочтительных горизонтов и скоростей плавления приоритетных видов рыб. Заложение откосов m_k принимается из условия обеспечения устойчивости конструкции тракта в заданном виде грунта.

В соответствии со схемами по рисунку 1 разработаны соответствующие им методики гидравлического расчета, блок-схемы которых приведены на рисунках 2 и 3.

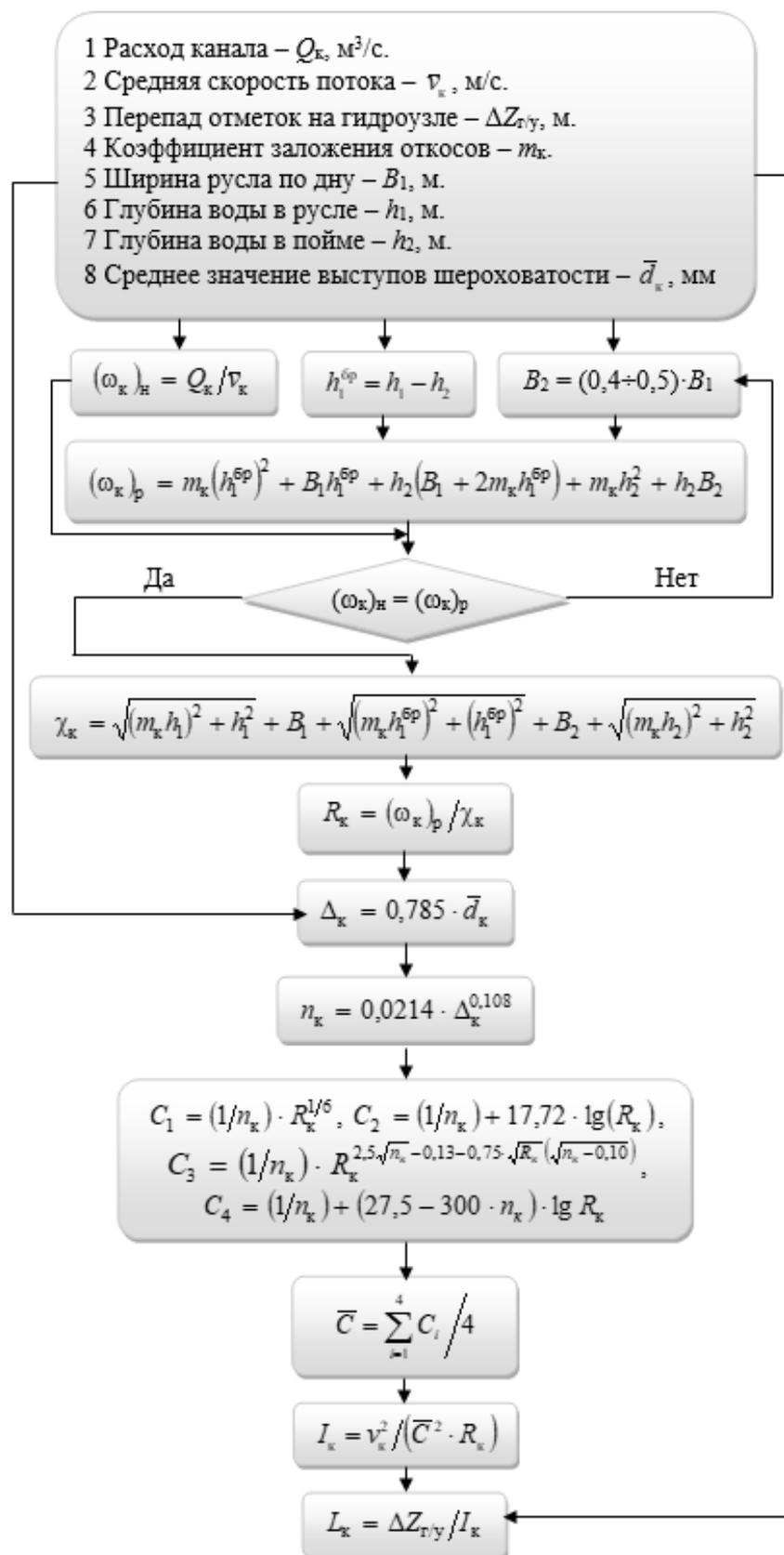


Рисунок 2 – Блок-схема расчета тракта канала с одноступенчатой поймой

Figure 2 – Block schemes for calculating a channel tract with a single-stage floodplain

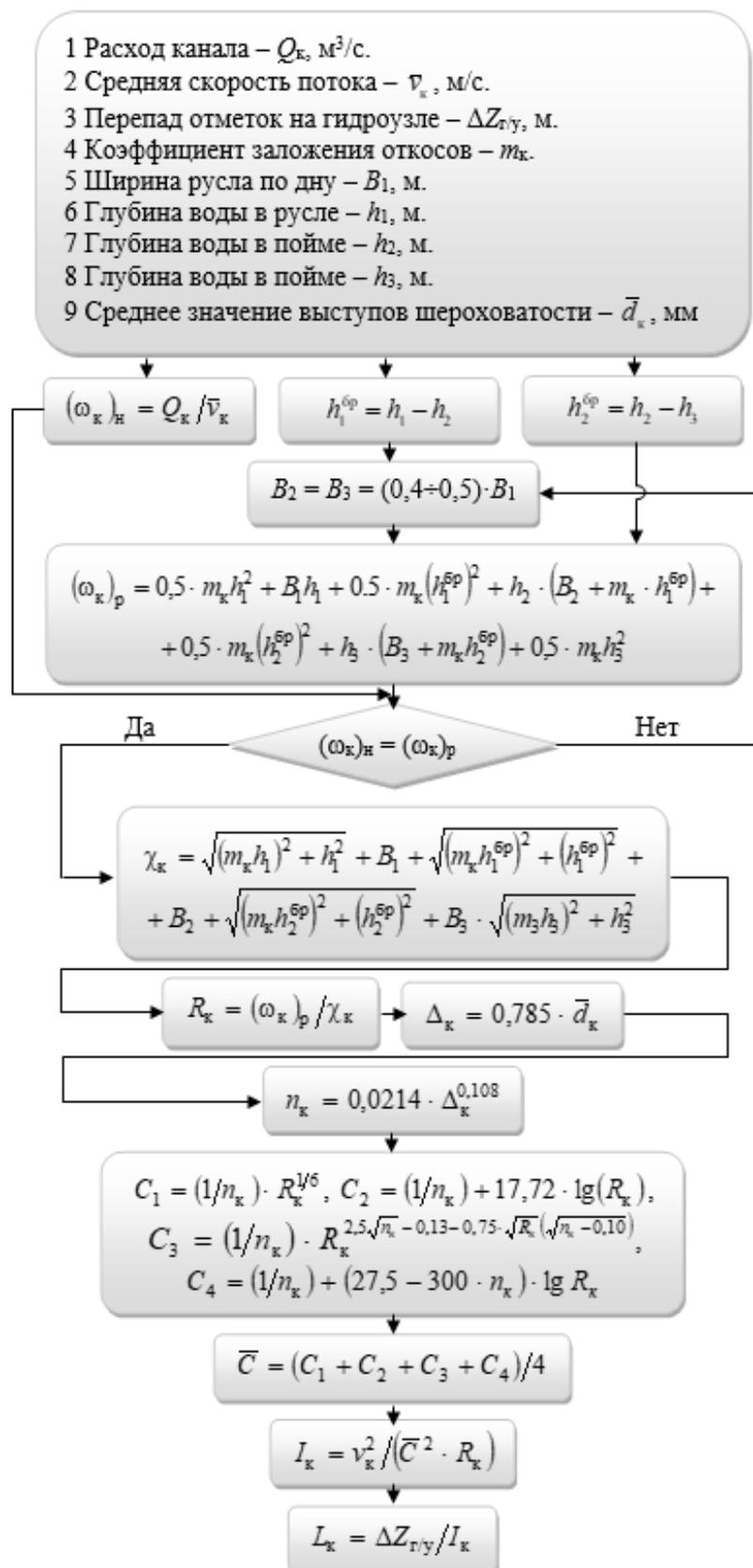


Рисунок 3 – Блок-схема расчета тракта канала с двухступенчатой поймой
Figure 3 – Block-schemes for calculating a channel tract with a two-stage floodplain

Обозначения по рисункам 2, 3: $h_1^{бр}$, $h_2^{бр}$ – глубины потока при его выходе на русловую и пойменные бровки, м; $(\omega_k)_н$, $(\omega_k)_р$ – начальная и расчетная площади поперечного («живого») сечения тракта, м²; χ_k – смоченный периметр, м; R_k – гидравлический радиус, м; Δ_k – эффективная высота выступов шероховатости по сечению, мм; n_k – коэффициент шероховатости; \bar{C} – осредненное значение параметра Шези по формулам Н. Маннинга (C_1), И. И. Агроскина (C_2), Н. Н. Павловского (C_3), И. И. Агроскина – Д. В. Штеренлихта (C_4) [10]; I_k – продольный уклон канала; L_k – длина тракта канала, м.

Результаты численной апробации методик (по двум вариантам поперечных сечений трактов каналов с параметрами, близкими к реальным) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты гидравлического расчета трактов каналов по предложенным конструктивным схемам и методикам
Table 1 – Results of hydraulic calculation of channel tracts according to the proposed design schemes and methods

Параметр	С одноступенчатой поймой	С двухступенчатой поймой
1	2	3
Исходные данные		
Расход канала Q_k , м ³ /с	100,0	
Средняя скорость потока \bar{v}_k , м/с	0,895	
Площадь поперечного сечения ω_n , м ²	111,7	
Перепад отметок на гидроузле ΔZ , м	2,0	
Коэффициент заложения откосов m_k	2,5	
Расчетная площадь поперечного («живого») сечения ω_p , м ²	111,7	111,7
Ширина русла по дну B_1 , м	17,07	14,747
Расчетные значения		
Ширина поймы по дну B_2 , м	8,535	7,373
Ширина поймы по дну B_3 , м	–	7,373
Смоченный периметр χ , м	44,453	48,342
Гидравлический радиус R , м	2,513	2,311
Осредненное значение выступов шероховатости \bar{d} , мм	130,0	
Эффективная высота выступов шероховатости Δ , мм	102,05	
Коэффициент шероховатости n_k , мм	0,035	
Глубина воды в русле h_1 , м	3,5	3,5

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3
Глубина воды в пойме h_2 , м	2,5	2,0
Глубина воды в пойме h_3 , м	–	1,5
Параметр Шези: по Н. Маннингу (C_1 , м ^{0,5} /с)	33,06	32,60
по И. И. Агроскину (C_2 , м ^{0,5} /с)	35,45	34,80
по Н. Н. Павловскому (C_3 , м ^{0,5} /с)	35,21	34,65
по И. И. Агроскину – Д. В. Штеренлихту (C_4 , м ^{0,5} /с)	35,13	34,51
Среднее значение (\bar{C}_{1-4} , м ^{0,5} /с)	34,71	34,14
Продольный уклон канала I_k	0,000265	0,000297
Протяженность канала L_k , м	7560,0	6727,0

Особенностью предложенных методик является наличие в их составе зависимостей, учитывающих формирование необходимых (по глубине, скорости, размерам жизненного пространства и др.) условий для нахождения, перемещения и воспроизводства (нереста) мигрирующих особей рыб в русловом и пойменном отсеках тракта канала.

Выводы

1 Материалы анализа известных сведений по трактам рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов, характеризующихся пойменно-русловым поперечным профилем, позволили установить потребность в разработке методик их гидравлического расчета и расширении накопленной базы данных по их конструктивным решениям.

2 Предложены варианты конструктивного исполнения и методики гидравлического расчета трактов каналов, характеризующихся односторонним относительно русла расположением их пойменных отсеков с одно- и двухступенчатым исполнением.

Список источников

1. Шкура Вл. Н., Дроботов А. Н. Рыбоходные и рыбоходно-нерестовые каналы: монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т ДГАУ. Новочеркасск: Лик, 2012. 204 с.
2. Шкура В. Н., Шевченко А. В. Конструирование и расчет трактов пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 244–263. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1304> (дата обращения: 15.08.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-244-263>.

3. Fishway in hydropower dams: a scientometric analysis / J. L. Brito-Santos, K. Dias-Silva, L. S. Brasil, J. B. da Silva, A. M. Santos, L. M. de Sousa, T. B. Vieira // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021, 28 Oct. Vol. 193. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09360-z>.

4. Baki A. B. M., Azimi A. H. Hydraulics and design of fishways II: vertical-slot and rock-weir fishways // *Journal of Ecohydraulics*. 2021. P. 1–13. DOI: 10.1080/24705357.2021.1981780.

5. Боровской В. П., Гарбуз А. Ю., Баев О. А. Методика гидравлического расчета нерестового канала с разнофракционным гравийно-галечниковым покрытием русла // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2018. № 1(29). С. 233–248. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=923> (дата обращения: 15.08.2023).

6. Рыбоходно-нерестовый канал «Русло-пойма» / М. А. Скоробогатов, А. И. Лупандин, Е. С. Горбашева, А. П. Решетов // *Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны*. Новочеркасск: НГМА, 2001. С. 100–104.

7. Чистяков А. А. Конструкции рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов: учеб. пособие. Новочеркасск, 2004. 150 с.

8. Пат. 2274702 Российская Федерация, МПК Е 02 В 8/06, Е 02 В 8/08. Способ гашения кинетической энергии водного потока в рыбоходно-нерестовом канале и рыбоходно-нерестовый канал, его осуществляющий / Чистяков А. А., Шкура В. Н., Алымов С. И. № 2004135132/03; заявл. 01.12.04; опубл. 20.04.06, Бюл. № 11. 20 с.

9. Шкура Вл. Н. Рыбоводные мелиорации малых и средних степных рек (обоснование путей и средств их реализации): монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т ДГАУ. Новочеркасск, 2015. 197 с.

10. Мамедов А. Ш. О расчете коэффициента Шези речного потока // *Природообустройство*. 2011. № 3. С. 62–67.

References

1. Shkura V.I.N., Drobotov A.N., 2012. *Rybokhodnye i rybokhodno-nerestovyye kanaly: monografiya* [Fish Pass and Fish Passing-Spawning Channels: monograph]. Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of Don SAU, Novocherkassk, Lik Publ., 204 p. (In Russian).

2. Shkura V.N., Shevchenko A.V., 2022. [Design and calculation of fish passing and spawning channel tracts at waterworks]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 244-263, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1304> [accessed 15.08.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-244-263>. (In Russian).

3. Brito-Santos J.L., Dias-Silva K., Brasil L.S., da Silva J.B., Santos A.M., de Sousa L.M., Vieira T.B., 2021. Fishway in hydropower dams: a scientometric analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 28 Oct., vol. 193, pp. 1-17, <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09360-z>.

4. Baki A.B.M., Azimi A.H., 2021. Hydraulics and design of fishways II: vertical-slot and rock-weir fishways. *Journal of Ecohydraulics*, pp. 1-13, DOI: 10.1080/24705357.2021.1981780.

5. Borovskoy V.P., Garbuz A.Yu., Baev O.A., 2018. [Hydraulic calculation methodology of spawning canal with differently fractured gravel-pebble-bed covering]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(29), pp. 233-248, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=923> [accessed 15.08.2023]. (In Russian).

6. Skorobogatov M.A., Lupandin A.I., Gorbashева E.S., Reshetov A.P., 2001. *Rybokhodno-nerestovyy kanal "Ruslo-poyma"* [Fish passing and spawning channel "Bed-Floodplain"]. *Okhrana i vobnovlenie gidroflory i ikhtiofauny* [Protection and Renewal of Hydroflora and Ichthyofauna]. Novocherkassk, NGMA, pp. 100-104. (In Russian).

7. Chistyakov A.A., 2004. *Konstruktsii rybokhodnykh i rybokhodno-nerestovykh kanalov: uchebnoe posobie* [Design of Fish Pass and Fish Passing-Spawning Channels: textbook]. Novocherkassk, 150 p. (In Russian).

8. Chistyakov A.A., Shkura V.N., Alymov S.I., 2004. *Sposob gasheniya kineticheskoy energii vodnogo potoka v rybokhodno-nerestovom kanale i rybokhodno-nerestovyy kanal, yego osushchestvlyayushchiy* [Method for Kinetic Flow Energy Dissipation in Fish Passing and Hatchery Channel and Fish Passing and Hatchery Channel Itself]. Patent RF, no. 2274702. (In Russian).

9. Shkura V.I.N., 2015. *Rybovodnye melioratsii malykh i srednikh stepnykh rek (obosnovanie putey i sredstv ikh realizatsii): monografiya* [Fish-Breeding Reclamation of Small and Medium Steppe Rivers (Substantiation of Ways and Means of Their Implementation): monograph]. Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of Don SAU, Novocherkassk, 197 p. (In Russian).

10. Mamedov A.Sh., 2011. *O raschete koeffitsienta Shezi rechnogo potoka* [Chezy coefficient calculation of river flow]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 3, pp. 62-67. (In Russian).

Информация об авторах

А. В. Шевченко – младший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, rigge1111@mail.ru, AuthorID: 1027431, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>;

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, VNShkura@yandex.ru, AuthorID: 734199, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>.

Information about the authors

A. V. Shevchenko – Junior Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, rigge1111@mail.ru, AuthorID: 1027431, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>;

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, VNShkura@yandex.ru, AuthorID: 734199, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>.

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

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

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

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 02.11.2023; принята к публикации 10.11.2023.

The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 02.11.2023; accepted for publication 10.11.2023.