

Оригинальная статья

УДК 532.55

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-76-81



ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ РУСЛА МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

Бакланова Дарья Викторовна, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

WoS ResearcherID: B-2211-2018/; ORCID: 0000-0002-6149-5073; SPIN-код: 8798-2000; AuthorID: 618663; d.baklanova@bk.ru

Баев Олег Андреевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

WoS ResearcherID: L-6929-2016/; Scopus AuthorID: 57196105439; ORCID:0000-0003-0142-4270; SPIN-код: 1280-0796; AuthorID: 699695; Oleg-Baev1@yandex.ru

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации; 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190, Россия

Аннотация. Цель исследований – определение коэффициента шероховатости русла магистрального канала ВР-1 Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС) и сопоставление полученных данных с нормативными значениями. Материалами для выполнения расчетов послужили пояснительная записка к проекту II очереди строительства СООС, паспорта магистральных и межхозяйственных каналов системы (2015 г.), технический отчет эксплуатирующей организации за 2021 г., данные натурных измерений глубин и скоростей течения водного потока в рассматриваемом створе по методу «Скорость-площадь», результаты натурных обследований водопроводящей сети и ГТС СООС, а также данные ГИС-карт и источников литературы. Методология расчета элементов живого сечения каналов учитывала рекомендации СП 100.13330.2016. Расчет коэффициентов шероховатости русел выполнялся с использованием известных зависимостей, в том числе формулы Шези, уравнения Маннинга, зависимостей И.И. Агроскина и Н.Н. Павловского. Определены элементы живого сечения и получены значения коэффициента шероховатости в рассматриваемом створе магистрального канала. Полученные расчетные значения коэффициента шероховатости имеют хорошую сходимость (отклонение результатов не превышает 2,8%). Полученные значения превышают нормативное значение коэффициента шероховатости в 1,6-1,64 раза, что объясняется не только зарастанием русла канала водной растительностью, но и особенностью формы поперечного сечения данного канала, который на рассматриваемом участке имеет значительную ширину по дну. Подтверждено в процессе натурных обследований водопроводящей сети данного канала весной 2022 г. Ввиду этого необходимо своевременно проводить профилактические мероприятия, направленные на снижение дополнительного гидравлического сопротивления, вызванного зарастанием русла растительностью.

Ключевые слова: обводнительно-оросительная система, магистральный канал, коэффициент шероховатости, зарастание, русло

Формат цитирования: Бакланова Д.В., Баев О.А. Оценка гидравлической шероховатости русла магистрального канала // Природообустройство. 2023. № 1. С. 76-81. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-76-81.

© Бакланова Д.В., Баев О.А., 2023

Original article

ASSESSMENT OF THE HYDRAULIC ROUGHNESS OF THE MAIN CHANNEL BED

Baklanova Daria Viktorovna, candidate of technical sciences, leading researcher

WoS ResearcherID: B-2211-2018/; ORCID: 0000-0002-6149-5073; SPIN-код: 8798-2000; AuthorID: 618663; d.baklanova@bk.ru

Baev Oleg Andreevich, candidate of technical sciences, leading researcher

WoS ResearcherID: L-6929-2016/; Scopus AuthorID: 57196105439; ORCID:0000-0003-0142-4270; SPIN-код: 1280-0796; AuthorID: 699695; Oleg-Baev1@yandex.ru

Russian research institute of problems of land reclamation; 346421, Rostov region, NovoCherkassk, pr. Baklanobsky, 10, Russia

Annotation. The purpose of the study was to determine the roughness coefficient of the main channel bed ВР-1 of the Sarpinskaya watering-irrigation system (SWIS) and to compare the data obtained with the normative values. The materials for performing the calculations were:

an explanatory note to the project of the second stage of the construction of the SWIS, passports of the main and inter-farm channels of the system (2015), a technical report of the operating organization for 2021, data of full-scale measurements of the depths and velocities of the water flow in the considered alignment using the «speed-area» method, the results of full-scale surveys of the water supply network and HTS SWIS, as well as data from GIS maps and literary sources. The methodology for calculating the elements of the live section of the channels took into account the recommendations of SP 100.13330.2016. The calculation of the roughness coefficients of the channels was carried out using known dependencies, including the Chezy formula, the Manning equation, the dependencies of I.I. Agroskin and N.N. Pavlovsky. The elements of the living section are determined and the values of the roughness coefficient in the considered alignment of the main channel are obtained. At the same time, the calculated values of the roughness coefficient obtained have good convergence (the deviation of the results does not exceed -2.8%). However, the obtained values exceed the normative value of the roughness coefficient by 1.6-1.64 times, which is explained not only by the overgrowth of the channel bed with aquatic vegetation, but also by the peculiarity of the shape of the cross-section of this channel, which in the area under consideration has a significant width along the bottom. The calculated values of the roughness coefficient obtained indicate the overgrowth of the main canal bed, which was confirmed during field surveys of the water supply network of this canal in the spring of 2022. In view of this, it is necessary to carry out preventive measures in a timely manner aimed at reducing the additional hydraulic resistance caused by overgrowth of the riverbed with vegetation.

Keywords: watering and irrigation system, main channel, roughness coefficient, overgrowth, bed

Format of citation: Baklanova D.V., Baev O.A. Assessment of the hydraulic roughness of the main channel bed // Prirodoobustrojstvo. 2023. No.1. S. 76-81. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-76-81.

Введение. Государственной программой* эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации предусмотрено развитие мелиоративного комплекса страны. Для достижения поставленной цели необходимо предотвратить выбытие из сельскохозяйственного оборота мелиорированных земель за счет реконструкции, технического перевооружения и строительства новых объектов мелиоративного комплекса.

Применительно к условиям Республики Калмыкия, которая ограничена в водных ресурсах, восстановление изношенных оросительных систем и сокращение площадей засоленных земель являются приоритетным направлением сохранения и развития сельскохозяйственного производства на территории Республики, особенно в ее северных районах (Малодербетовский и Октябрьский), где сельскохозяйственное и питьевое водоснабжение обеспечивается за счет каналов Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС).

Сокращение площадей посевов риса в 2019-2022 гг. (рис. 1), орошаемых из СООС в Калмыкии, а также авария на Федоровском гидроузле, который обеспечивал поливы рисовых полей нескольких районов Краснодарского края, подтверждают необходимость интенсификации

производства данной зерновой культуры за счет организации рационального (водосберегающего) и эффективного водопользования [1-3].

Водоподача в основные магистральные и межхозяйственные каналы СООС Р-1 и ВР-1 осуществляется через каналы Р-1 и Р-3 Райгородской оросительной системы Волгоградской области, плавучие водозаборы которой расположены у с. Райгород на р. Волге. Водозабор производится на основе согласованных графиков забора воды между ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» и ФГБУ «Управление «Калммелиоводхоз». Основой для составления планов забора воды служат планы водопользования хозяйств с указанием

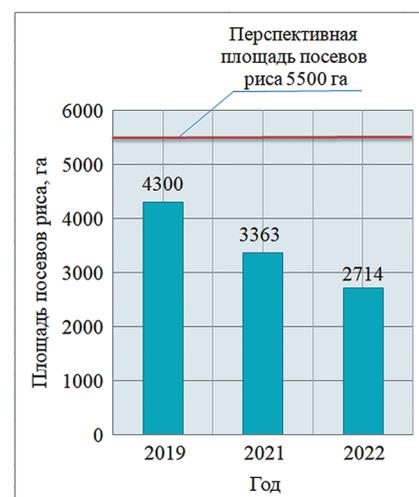


Рис. 1. Площади посевов риса в 2019-2022 гг. в пределах СООС
Fig. 1. Areas of rice crops in 2019-2022 within the limits of the SWIS

* Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации: утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 14 мая 2020 г. № 731.

структуры посевных площадей, способов и сроков полива, количества поливов и водопотребления по каждой сельскохозяйственной культуре.

По результатам натуральных обследований каналов и гидротехнических сооружений (ГТС) СООС [4], проведенных весной 2022 г., установлено, что дамбы каналов на отдельных участках разрушены, наблюдается затопление приканальных территорий. В экологическом аспекте с началом поливного сезона и увеличением водоподдачи эти территории заболачиваются и интенсивно зарастают водной растительностью и мелколесьем (рис. 2).

Ввиду необходимости обоснования мероприятий по техническому совершенствованию водопроводящей сети СООС, которая выполнена в земляном русле [5-7], оценка гидравлических условий работы ее каналов является актуальной задачей.

Цель исследований: определение значения коэффициента шероховатости русла магистрального канала ВР-1 на участке гидрометрического поста (ГП), сопоставление полученных данных с нормативными значениями.

Изучением гидравлических сопротивлений (шероховатости) искусственных водотоков (в том числе с применением различных материалов) занимались В.Т. Чоу [6], Э.Л. Беновицкий [7], И.А. Долгушев [8], Ю.М. Косиченко [9-11]. Результаты исследований шероховатости водосбросов рассмотрены в работах А.П. Гурьева, Д.В. Козлова, Н.В. Ханова [12, 13]. Исследования шероховатости быстротокков отражены в работах И.А. Рыловой [14], А.А. Ткачева [15, 16] и других ученых [17, 18].

Материалы и методы исследований.

Объект исследований – магистральный и межхозяйственный канал ВР-1 СООС, который является продолжением канала Р-3 Райгородской оросительной системы. Канал ВР-1 протяженностью 97 км подает воду для орошения лиманов и рисовых севооборотов, введен в эксплуатацию в 1965 г. Согласно паспорту (2015 г.) канал не облицован, выполнен в полувыемке-полунасыпи,

имеет трапецеидальное сечение и рассчитан на форсированный расход (в голове канала) $38 \text{ м}^3/\text{с}$ (нормальный расход – $25 \text{ м}^3/\text{с}$).

Материалами для выполнения расчетов послужили пояснительная записка к проекту II очереди строительства СООС (1975 г.), паспорта магистральных и межхозяйственных каналов системы (2015 г.), технический отчет Сарпинского филиала ФГБУ Управление «Калммелиоводхоз» за 2021 г., данные натуральных измерений глубин и скоростей течения водного потока на вертикалях в створе ГП по методу «Скорость-площадь» (май 2022 г.) (табл. 1), результаты натуральных обследований водопроводящей сети и ГТС СООС, данные ГИС-карт и источников литературы [19].

В процессе длительной эксплуатации земляные русла каналов, как правило, зарастают влаголюбивой растительностью, поперечные сечения каналов деформируются, оползают откосы, изменяются скорость течения и продольный уклон. Ввиду этого, а также наличия в руслах каналов перегораживающих сооружений движение воды в них является неравномерным. Однако на транзитных участках значительной протяженности, где для выравнивания потока имеется прямолинейный участок, движение жидкости можно считать равномерным. Для выполнения расчетов используется формула Шези [12-14]:

$$Q = S \cdot C \sqrt{R \cdot i}, \quad (1)$$

где Q – расход воды в канале, $\text{м}^3/\text{с}$; S – площадь живого сечения, м^2 ; C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0.5}/\text{с}$; R – гидравлический радиус, м ; i – гидравлический уклон.

Расчет основных элементов живого сечения канала выполнялся с учетом рекомендаций СП 100.13330.2016 (табл. 2).

1. Для приближенных расчетов при определении коэффициента Шези C , $\text{м}^{0.5}/\text{с}$, допустимо использовать формулу Маннинга (1890 г.):

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}, \quad (2)$$

где n – коэффициент шероховатости.



Рис. 2. Разрушение дамбы канала и подтопление приканальных территорий на МК ВР-1 СООС (фото предоставлено ФГБУ «Управление «Калммелиоводхоз»)

Fig. 2. Destruction of the channel dam and flooding of the adjacent territories on MK VR-1 SWIS (photo provided by the Federal State Budgetary Institution «Management «Kalmmeliovodkhoz»)

Средняя скорость потока в живом сечении (v_{cp} , м/с) определяется по зависимости [18-20]:

$$v_{cp} = \frac{Q}{S}. \quad (3)$$

Тогда с учетом (1)-(3) коэффициент шероховатости n можно определить как [18-20]

$$n = \frac{R^{2/3} \cdot i^{1/2}}{v_{cp}}. \quad (4)$$

2. Коэффициент шероховатости русла также можно определить по полуэмпирической зависимости логарифмического типа И.И. Агроскина (1949 г.) [20, 21]:

$$n = \frac{1}{C - 17,721 \cdot \lg R}. \quad (5)$$

Выразив из формулы (5) коэффициент Шези и подставив полученное выражение в формулу (1), получим

$$n = \frac{1}{\frac{Q}{S \cdot \sqrt{R} \cdot i} - 17,721 \cdot \lg R}. \quad (6)$$

3. Коэффициент шероховатости также можно определить с использованием формулы Н.Н. Павловского [20, 22]:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (6)$$

где y – показатель степени, $y = 1,3\sqrt{n}$ при $R > 1$.

Тогда с учетом (1), (6) и данных, представленных в таблицах 1 и 2, формула для определения коэффициента шероховатости примет вид:

$$28,82 \cdot n = 1,27^{1,3\sqrt{n}}. \quad (7)$$

Решая уравнение (7) методом последовательных приближений, найдем значение коэффициента шероховатости n .

Результаты и их обсуждение. Сводные результаты расчетов коэффициента шероховатости отражены в таблице 3.

Анализ расчетных значений коэффициента шероховатости показывает хорошую сходимость результатов расчета с наибольшим расхождением – 2,8%. Однако полученные значения n превышают нормативное значение коэффициента шероховатости в 1,6-1,64 раза, что объясняется не только зарастанием русла канала водной

Таблица 1. Сводные данные измерений в створе ГП

Table 1. Summary of measurements in the GP alignment

Длина прямолинейного участка, $l_{пр}$, км Length of the rectilinear section, $l_{пр}$, km	Элемент потока Flow element	Оборудование Equipment	Кол-во скоростных вертикалей, шт. Number of high-speed verticals, pcs.	Параметры русла Riverbed parameters			Характеристики водного потока Characteristics of the water flow		
				Ширина канала по дну, b , м Channel width along the bottom, b , m	Коэффициент заложения откоса, m Slope laying coefficient, m	Гидравлический уклон, $i \times 10^{-4}$ Hydraulic slope, $i \times 10^{-4}$	Средняя скорость v_{cp} , м/с Average speed of v_{cp} , m/s	Глубина (наполнение), h , м Depth (filling), h , m	Расход, Q , м ³ /с Flow rate, Q , m ³ /s
2,25	Русло канала в створе ГП Channel bed in the alignment of the GP	Гидрометрическая вертушка ГР-21М Hydrometric turntable GR-21M	17	17	3	2	0,46	1,57	15,65

Таблица 2. Расчетные значения элементов живого сечения магистрального канала в створе ГП

Table 2. Calculated values of the elements of the live section of the main channel in the alignment of the GP

Ширина по верху, B , м Width at the top B , m	Площадь живого сечения, S , м ² The area of the living section, S , m ²	Смоченный периметр, χ , м Wetted perimeter, χ , m	Гидравлический радиус, R , м Hydraulic radius, R , m
26,42	34,08	26,93	1,27

растительностью, но и особенностью формы поперечного сечения данного канала, который

на рассматриваемом участке имеет значительную ширину по дну (до $b = 17$ м).

Таблица 3. Сводные результаты расчетов и сопоставления полученных значений коэффициента шероховатости

Table 3. Summary results of calculations and comparison of the obtained values of the roughness coefficient

С учетом (2) (по Маннингу) <i>Taking into account (2) (according to Manning)</i>	Расчетные значения n <i>Calculated values n</i>	Нормативное значение n_n <i>Normative value n_n</i>	
0,0360	0,0370	0,0368	0,0225

Примечание / Note:

¹ Проверка решения уравнения (7) при $n = 0,0368$ / Checking the solution of equation (7) at $n = 0,0368$: $28,82 \cdot 0,0368 = 1,061; 1,27^{1,3\sqrt{0,0368}} = 1,061$ – значение n определено верно / the value of n is determined correctly.

Выводы

На основе натуральных данных определены элементы живого сечения и получены расчетные значения коэффициента шероховатости в рассматриваемом створе русла магистрального канала. При этом полученные расчетные значения имеют хорошую сходимости, однако в целом превышают нормативное значение коэффициента шероховатости в 1,6-1,64 раза.

Стоит отметить, что полученные значения коэффициента шероховатости нельзя считать постоянными, так как данный параметр является переменным. В начале вегетационного сезона (ранней весной) коэффициент (n) имеет наименьшие значения, а к середине июня значительно возрастает, когда русла

начинают зарастать [9]. Кроме того, на значение коэффициента оказывает влияние изменчивость пропускаемых по руслу расходов, так как при пропуске малых расходов каналы начинают зарастать не только вдоль берегов, но и по откосам.

Проведенные в мае 2022 г. натурные обследования СООС подтвердили наличие растительности вдоль берегов и на откосах магистральных каналов ВР-1, «Обводной», «Водоподающий» СООС. Ввиду этого на каналах системы необходимо своевременно проводить своевременные профилактические мероприятия, направленные на снижение дополнительного гидравлического сопротивления, вызванного зарастанием растительностью их русел.

Список использованных источников

1. Колганов А.В., Баев О.А., Бакланова Д.В. Результаты натуральных исследований магистрального канала в Республике Калмыкия // Природообустройство. 2022. № 3. С. 108-114.
2. Бакланова Д.В. Анализ проблем функционирования Сарпинской обводнительно-оросительной системы в Республике Калмыкия // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 209-222.
3. Бакланова Д.В. Пути обеспечения рационального и эффективного водопотребления в зоне действия Сарпинской обводнительно-оросительной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 2 (86). С. 22-31.
4. Сухов А.А., Арьков Д.П., Никифорова Д.Н., Ляшенко К.А. Сарпинская оросительно-обводнительная система на территориях Волгоградской, Астраханской областей и Республики Калмыкия, ее геоэкологические и гидротехнические проблемы и пути их решения // Вестник мелиоративной науки. 2021. № 2. С. 28-32.
5. Дедова Э.Б., Шабанов Р.М., Дедов А.А. Пути повышения эффективности функционирования рисовой оросительной системы на территории Сарпинской низменности // Colloquium-journal. 2019. № 5 (29). С. 41-43.
6. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов: Пер. с англ. М.: Стройиздат, 1969. 464 с.
7. Беновицкий Э.Л. Вывод расчетных зависимостей для коэффициента шероховатости частично заросших русел // Водные ресурсы. 1988. № 1. С. 68-74.
8. Долгушев И.А. Повышение эксплуатационной надежности оросительных каналов. М.: Колос, 1975. 136 с.

References

1. Kolganov A.V., Baev O.A., Baklanova D.V. Rezultaty naturalnykh issledovaniy magistralnogo kanala v Respublike Kalmykiya // Prirodoobustrojstvo. 2022. № 3. S. 108-114.
2. Baklanova D.V. Analiz problem funkcionirovaniya Sarpinskoj obvodnitelno-orositelnoj sistemy v Respublike Kalmykiya // Melioratsiya i gidrotehnika. 2022. T. 12. № 2. S. 209-222.
3. Baklanova D.V. Puti obespecheniya ratsionalnogo i effektivnogo vodopotrebleniya v zone dejstviya Sarpinskoj obvodnitelno-orositelnoj sistemy // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2022. № 2(86). S. 22-31.
4. Suxov A.A., Arkov D.P., Nikiforova D.N., Lya-shenko K.A. Sarpinskaya orositelno-obvodnitelnaya sistema na territoriyah Volgogradskoj, Astrahanskoj oblastej i Respubliki Kalmykiya, ee geoeologicheskie i gidrotehnicheskie problemy i puti ih resheniya // Vestnik meliorativnoj nauki. 2021. № 2. S. 28-32.
5. Dedova E.B., Shabanov R.M., Dedov A.A. Puti povysheniya effektivnosti funkcionirovaniya risovoj orositelnoj sistemy na territorii Sarpinskoj nizmennosti // Colloquium-journal. 2019. № 5 (29). S. 41-43.
6. Chou V.T. Gidravlika otkrytykh kanalov / [per. s angl.]. M.: Strojizdat. 1969. 464 s.
7. Benovitskij E.L. Vyvod raschetnykh zavisimostej dlya koeffitsienta sherohovatosti chastichno zarosshih rusel // Vodnye resursy. 1988. № 1. S. 68-74.
8. Dolgushev I.A. Povyshenie ekspluatatsionnoj nadezhnosti orositelnykh kanalov. M.: Kolos, 1975. 136 s.
9. Kosichenko Yu.M. Obobshchenie dannyh po sherohovatosti rusel kanalov v zemlyanom rusle i oblitsovke // Ekologiya i vodnoe hozyajstvo. 2020. № 2 (5). S. 155-168.

9. **Косиченко Ю.М.** Обобщение данных по шероховатости русел каналов в земляном русле и облицовке // Экология и водное хозяйство. 2020. № 2 (5). С. 155-168.

10. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Гидравлическая эффективность оросительных каналов при эксплуатации // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 8. С. 1147-1162.

11. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Особенности гидравлических и фильтрационных расчетов осушительно-оросительной системы // Природообустройство. 2021. № 4. С. 90-98.

12. **Ханов Н.В.** Гидравлика водосбросов с тангенциальными завихрителями: монография. М.: МСХ РФ; МГУП, 2003. 224 с.

13. **Гурьев А.П., Румянцев И.С., Козлов Д.В., Ханов Н.В. и др.** Модельные гидравлические исследования водосброса № 2 Богучанской ГЭС с отбросом струи с длинными разделительными стенками // Приволжский научный журнал. 2009. № 1 (9). С. 57-65.

14. **Рылова И.А., Боровков В.С.** Эквивалентная шероховатость напорных и безнапорных водоводов // Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 181-187.

15. **Ткачев А.А., Гурин К.Г.** Опытное определение формы движения потока на лотке быстроготока с усиленной шероховатостью при пропуске расчетного расхода $q = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 145-летию образования «Донлесхоза» (ГБУ РО «Дирекция особо охраняемых природных территорий областного значения»). Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. С. 109-118.

16. **Ткачев А.А., Гурин К.Г.** Гидравлические лабораторные исследования лотка быстроготока Новотроицкого водохранилища при пропуске расчетного расхода $q = 260 \text{ м}^3/\text{с}$ // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: материалы II Международной научно-практической интернет-конференции. Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. С. 65-76.

17. **Huai W.X., Zhang J., Wang W.J., Katul G.G.** Turbulence structure in open channel flow with partially covered artificial emergent vegetation // Journal of Hydrology. 2019. Pp. 180-193.

18. **Мамедов Ахмед Ширин Оглы.** О расчете коэффициента Шези речного потока // Природообустройство. 2011. № 3. С. 62-67.

19. **Кочкарева А.С., Ахмедова Н.Р.** Определение коэффициентов шероховатости при выполнении гидрологических исследований // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021. Т. 7, № 1. С. 17-22.

20. **Богомолов А.И., Михайлов К.А.** Гидравлика: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1965. 632 с.

21. **Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев и др.** 4-е изд., перераб. и доп.; репр. воспр. изд. 1972 г. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.

22. **Снежко В.Л.** Использование универсальных формул при экспериментальном определении гидравлически эквивалентной шероховатости // Научное обозрение. 2011. № 3. С. 28-36.

Критерии авторства

Бакланова Д.В., Баев О.А. выполнили практические и 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.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 16.12.2022

Одобрена после рецензирования 11.01.2023

Принята к публикации 15.01.2023

10. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Gidravlicheskaya effektivnost orositelnykh kanalov pri ekspluatatsii // Vestnik MGSU. 2020. T. 15. № 8.

S. 1147-1162.

11. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Osobennosti gidravlicheskih i filtratsionnykh raschetov osushitelno-orositelnoy sistemy // Prirodoobustrojstvo. 2021. № 4. S. 90-98.

12. **Khanov N.V.** Gidravlika vodosbrosov s tangencial'ny'mi zavixritelyami: monografiya. M.: MSH RF; MGUP, 2003. 224 s.

13. **Gurjev A.P.** Modelnye gidravlicheskie issledovaniya vodosbrosa № 2 Boguchanskoj GES s otbrosom strui s dlinnymi razdelitel'nymi stenkami / Rumyantsev I.S., Kozlov D.V., Khanov N.V. i dr. // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2009. № 1(9). S. 57-65.

14. **Rylova I.A., Borovkov V.S.** Ekvivalentnaya sherohovatost napornyh i beznapornyh vodovodov // Vestnik MGSU. 2013. № 4. S. 181-187.

15. **Tkachev A.A., Gurin K.G.** Opytnoe opredelenie formy dvizheniya potoka na lotke bystrotoka s usilenoj sherohovatost'yu pri propuske raschetnogo raskhoda $q = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, posvyashchennoj 145-letiyu obrazovaniya «Donleskhoza» (GBU RO «Direktsiya osobo ohranyaemykh prirodnykh territorij oblastnogo znacheniya»). Novocherkassk: ООО «Лик», 2021. S. 109-118.

16. **Tkachev A.A., Gurin K.G.** Gidravlicheskie laboratornye issledovaniya lotka bystrotoka Novotroitskogo vodohranilishcha pri propuske raschetnogo raskhoda $q = 260 \text{ м}^3/\text{с}$ // Melioratsiya kak drajver modernizatsii APK v usloviyah izmeneniya klimata: materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj internet-konferentsii. Novocherkassk: ООО «Лик», 2021. S. 65-76.

17. **Huai W.X., Zhang J., Wang W.J., Katul G.G.** Turbulence structure in open channel flow with partially covered artificial emergent vegetation // Journal of Hydrology. 2019. Pp. 180-193.

18. **Mamedov Axmed Shirin Ogly.** O raschete koefitsienta Shezi rechnogo potoka // Prirodoobustrojstvo. 2011. № 3. S. 62-67.

19. **Kochkareva A.S., Ahmedova N.R.** Opredelenie koefitsientov sherohovatosti pri vypolnenii gidrologicheskikh issledovanij // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2021. T. 7. № 1. S. 17-22.

20. **Bogomolov A.I., Mikhajlov K.A.** Gidravlika: uchebnik dlya vuzov. M.: Strojizdat, 1965. 632 s.

21. **Spravochnik po gidravlicheskim raschetam / P.G. Kiselev [i dr.].** 4-e izd., pererab. i dop.; repr. vospr. izd. 1972 g. M.: EKOLIT, 2011. 312 s.

22. **Snezhko V.L.** Ispolzovanie universalnykh formul pri eksperimentalnom opredelenii gidravlicheski ekvivalentnoj sherohovatosti // Nauchnoe obozrenie. 2011. № 3. S. 28-36.

Criteria of authorship

Baklanova D.V., Baev O.A. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

Contributions of the authors

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 16.12.2022

Approved after reviewing 11.01.2023

Accepted for publication 15.01.2023