

ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 626.88

doi: 10.31774/2658-7890-2022-4-4-101-118

Качество гидрологических условий для привлечения рыб в Усть-Манычские рыбоходные каналы

Олег Андреевич Баев¹, Алексей Викторович Шевченко²,
Виктор Николаевич Шкура³

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

³VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Аннотация. **Цель:** оценка качества гидрометрических условий для привлечения анадромно-мигрирующих по р. Западный Маныч рыб в рыбоходные каналы Усть-Манычского гидроузла. **Материалы и методы.** Фактологическую основу исследования составили данные гидрологических изысканий, выполненных на Усть-Манычских рыбоходных каналах, предназначенных для пропуска производителей рыб к местам их нереста. При проведении изысканий, обработке опытных данных, их анализе и обобщении использовались общепринятые методы и методики. **Результаты и обсуждение.** Получены данные и выполнены расчеты гидрологических характеристик в створах р. Западный Маныч, соответствующих расположению входов в рыбоходные каналы, за двух и трехмесячные периоды весенне-летнего нерестового хода мигрирующих рыб. Установлены отличия в значениях уровней воды в нижнем бьефе Усть-Манычского гидроузла в зависимости от продолжительности срока наблюдений. Получены опытные данные и расчетные зависимости для определения средних скоростей течения потока в контрольных створах для широкого диапазона изменения расходов и уровней воды. Установленные гидрологические данные реки и гидрометрические данные рыбоходных каналов составили эмпирическую базу для оценки качества условий для привлечения рыб из р. Западный Маныч к входам в каналы. Установлено, что показатель качества условий при различных соотношениях значений факторов влияния для одного рыбоходного канала составил 27,3–45,3 %, а для второго канала изменяется в пределах 15,1–21,6 %. **Выводы.** Получены данные о гидрологических величинах, характеризующих участок р. Западный Маныч от Усть-Манычского гидроузла до створа ее впадения в р. Дон. Дана оценка качеству гидрометрических условий для привлечения мигрирующих по реке к местам нереста рыб к входам в рыбоходные каналы.

Ключевые слова: воспроизводство рыб, анадромные миграции рыб, рыбопропускное сооружение, рыбоходный канал, гидрология реки, гидрометрические условия

Для цитирования: Баев О. А., Шевченко А. В., Шкура В. Н. Качество гидрологических условий для привлечения рыб в Усть-Манычские рыбоходные каналы // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 4. С. 101–118. <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-101-118>.

HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

Hydrological condition quality to attract fish into the Ust-Manych fish passage channels

Oleg A. Baev¹, Alexey V. Shevchenko², Viktor N. Shkura³

^{1, 2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

³VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Abstract. Purpose: quality assessment of hydrometric conditions for attracting anadromous fish migratory along the river Western Manych in the fish passage channels of the Ust-Manych waterworks. **Materials and methods.** The factual basis of the study was the data of hydrological surveys carried out on the Ust-Manych fish passage channels, designed to allow fish spawners to pass to their spawning grounds. Generally accepted methods and techniques were used while conducting surveys, processing experimental data, their analysis and generalization. **Results and discussion.** Data have been obtained and calculations of hydrological characteristics have been made in the sections of the river Western Manych, corresponding to the location of the entrances to the fish channels, for two and three-month periods of the spring-summer spawning run of migratory fish. Differences in the values of water levels in the downstream of the Ust-Manych waterworks depending on the duration of the observation period were determined. Experimental data and calculated dependences to determine the average flow rates in the control sections for a wide range of changes in flow rates and water levels were obtained. The determined hydrological data of the river and the hydrometric data of fish passage channels constituted an empirical basis for assessing the quality of conditions for attracting fish from the river Western Manych to the entrances to the canals. It has been found that the quality indicator of conditions at different ratios of the values of the factors of influence for one fish passage channel was 27.3–45.3 %, and for the second channel it varies within 15.1–21.6 %. **Conclusions.** Data were obtained on hydrological values characterizing the section of the river Western Manych from the Ust-Manych waterworks to the alignment of its confluence with the river Don. An assessment of the hydrometric conditions quality for attracting fish migrating along the river to spawning grounds at the entrances to fish passage channels is made.

Keywords: fish reproduction, anadromous fish migrations, fish passage facility, fish passage, river hydrology, hydrometric conditions

For citation: Baev O. A., Shevchenko A. V., Shkura V. N. Hydrological condition quality to attract fish into the Ust-Manych fish passage channels. *Ecology and Water Management*. 2022;4(4):101–118. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-101-118>.

Введение. В сложившихся к настоящему времени рыбохозяйственных условиях на Нижнем Дону имеется настоятельная необходимость в кардинальном улучшении условий для естественного воспроизводства популяций и промысловых запасов проходных, полупроходных и туводных видов рыб [1–6]. Одним из наиболее ценных в рыбоводческом отношении Нижне-Донских водных объектов является правый приток р. Дон – р. Западный Маныч. Манычские нерестилища (займища), расположенные между створами Усть-Манычского [7] и Веселовского гидроузлов [8], обеспечивали до 35–40 % естественного воспроизводства донского леща, судака, сазана и та-

рани. С вводом в эксплуатацию низконапорного Усть-Манычского гидроузла пути миграции указанных видов рыб к местам их нереста были прерваны, а устройство рыбопропускных сооружений в составе этого руслового водоподпорного объекта не было предусмотрено.

Одним из направлений решения указанной задачи является обеспечение пропуска мигрирующих рыб к местам их нереста через водоподпорные фронты возводимых на реках каскадов гидроузлов. Указанное направление улучшения условий для естественного воспроизводства популяций рыб предусмотрено реализовать при пропуске рыб в обход плотины Усть-Манычского (на р. Западный Маныч) гидроузла с созданием в его составе двух рыбоходных каналов [9, 10]. Определенные сведения о компоновочном решении и условиях функционирования этих каналов приведены в известных публикациях А. М. Анохина, А. П. Сапегина, Вл. Н. Шкуры, А. В. Михальчука, В. А. Храпковского, В. Н. Шкуры и др. [11–16]. Однако в указанных работах отсутствуют сведения о гидрологических и гидрометрических данных и расчетах, позволяющих оценить качество условий для привлечения производителей рыб из р. Западный Маныч к входам в рыбоходные каналы. Восполнение указанного дефицита в научно-технической информации и установление значений показателя, позволяющего оценить качество гидрометрических условий для работы рыбоходных каналов, определены задачами настоящего исследования.

Материалы и методы. Основу работы составили данные гидрологических изысканий, выполненных на рыбоходных каналах, устроенных при Усть-Манычском гидроузле. При проведении изысканий, обработке полученных данных, их анализе и обобщении использовались общепринятые методы и методики гидрологии и полевого эксперимента.

Результаты и обсуждение. Рыбоходные каналы Усть-Манычского гидроузла размещаются в правобережной пойме р. Западный Маныч. План расположения указанных сооружений представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Ситуационный план расположения рыбоходных каналов в составе низконапорного Усть-Манычского гидроузла

Figure 1 – Situational plan for the fish passage canal location as part of the low-pressure Ust'-Manych waterworks

Каналы запроектированы для пропуска через Усть-Манычский гидроузел полупроходных (тарани, сазана, леща, судака) и туводных видов рыб с приведенными в таблице 1 гидрометрическими параметрами.

Таблица 1 – Гидрометрические параметры Усть-Манычских рыбоходных каналов (в соответствии с проектом)

Table 1 – Hydrometric parameters of the Ust'-Manych fish passage channels (in accordance with the project)

Наименование параметра	Значение параметра	
	канал № 1	канал № 2
Расчетный расход канала Q_k , м ³ /с	15,0	6,0
Расчетная средняя скорость течения в тракте канала при отметке уровня воды в р. Дон 1,0 м БС (v_k , м/с)	0,8	0,6
Расчетная глубина водного потока на входе в канал (h_k , м) при отметке уровня воды в р. Дон $Z_p^{Дон} = 1,0$ м БС	1,2	1,0
Ширина рыбоходного канала по дну b_k , м	7,0	7,0
Коэффициент заложения откосов тракта канала	3,0	3,0
Уклон дна рыбоходного канала	0,0009	0,00096

В проектных материалах по Усть-Манычским рыбоходным (или, как указано в проектной документации, «мелиоративно-рыбоходным») кана-

лам гидрологические расчеты выполнены за двухмесячный период наблюдений (апрель – май), тогда как продолжительность нерестового периода в бассейне Нижнего Дона определена в три месяца (с 1 апреля по 30 июня). Указанное и не объясненное в проекте обстоятельство могло привести к неточностям в определении расчетных гидрологических величин, характеризующих гидрологические условия функционирования запроектированных рыбоходных каналов [12]. Для прояснения указанного обстоятельства были собраны необходимые гидрологические данные (за период с 1995 по 2020 г.) об уровнях воды в нижнем бьефе Усть-Манычского гидроузла и выполнены соответствующие гидрологические расчеты. Обработка опытных материалов предусматривала установление характера и количественных значений функциональной связи обеспеченности (P , %) уровней воды в нижнем бьефе ($Z_{н/б}$, м БС) Усть-Манычской плотины в виде $Z_{н/б} = f(P)$. Результаты гидрологических расчетов по данным измерений уровней воды в устье р. Западный Маныч за двухмесячные (апрель – май) и трехмесячные (апрель – июнь) периоды наблюдений даны на рисунках 2 и 3.

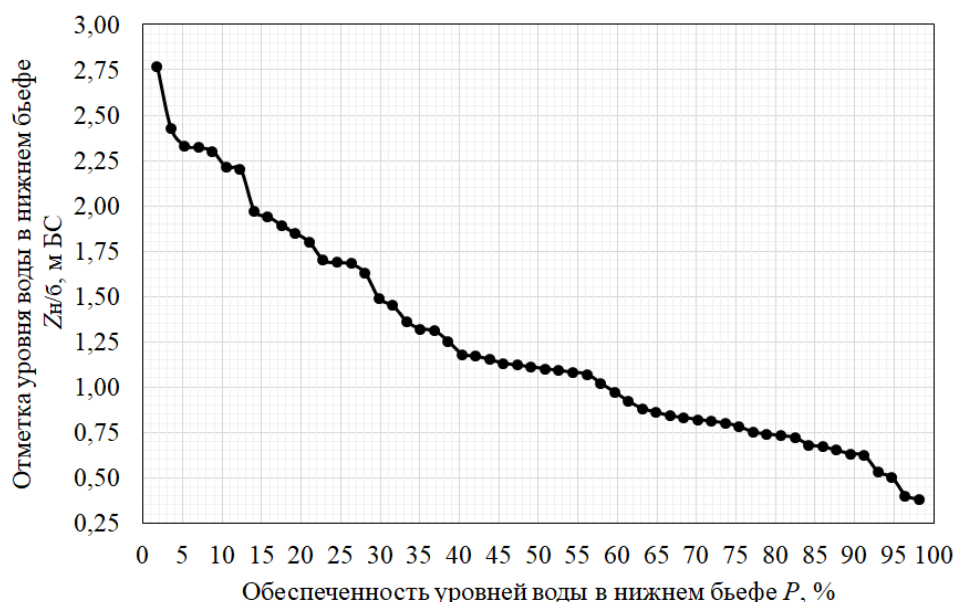


Рисунок 2 – Графическое представление значений функциональной связи $Z_{н/б} = f(P)$ по двухмесячному периоду наблюдений

Figure 2 – Graphical presentation of functional relationship values $Z_{н/б} = f(P)$ for a two-month observation period

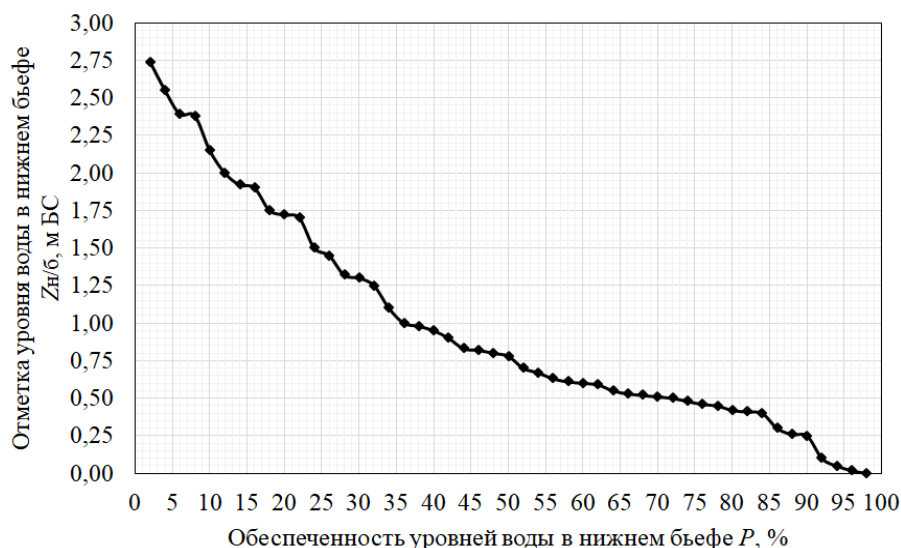


Рисунок 3 – Графическое представление значений функциональной связи $Z_{н/б} = f(P)$ по трехмесячному периоду наблюдений

Figure 3 – Graphical presentation of the functional connection values $Z_{н/б} = f(P)$ for a three-month observation period

Полученные гидрологические данные позволяют определить значения прогнозируемых отметок уровней воды на устьевом участке (в нижнем бьефе) р. Западный Маныч ($Z_{н/б}$, м БС) для характерных значений их обеспеченности (P , %), что иллюстрируется двумя кривыми на рисунке 4.

Судя по данным, приведенным на рисунке 4, значения уровней воды одинаковой обеспеченности для разных продолжительностей периодов наблюдений значительно отличаются. Отметим, что в проекте за расчетный уровень воды в р. Западный Маныч принята отметка уровня $Z_{н/б} = 1,0$ м БС. Указанное значение $Z_{н/б}$ по принятому в проекте двухмесячному периоду наблюдений соответствует значению обеспеченности, составляющему $P = 58,33$ %, по трехмесячному периоду $P = 41,5$ %. Выбор указанных расчетных значений $Z_{н/б}$, м БС, и P , %, в проекте не объяснен. В связи с этим в проекте отмечено, что за расчетную отметку уровня воды в устьевой части р. Западный Маныч принята минимально наблюдаемая отметка за последние 10 лет по двухмесячному периоду наблюдений (апрель – май), равная 1,0 м БС. Отметим, что в соответствии с действующими нормативами расчетное значение

обеспеченности гидрологических величин для рыбного хозяйства составляет 75 %, а для водного транспорта $P = 85$ %. Соответствующие указанным значениям обеспеченностей уровни воды в р. Западный Маныч составляют: $(Z_{н/б})_{75\%} = 0,78$ м БС и $(Z_{н/б})_{85\%} = 0,68$ м БС. Учитывая полученные значения отметок уровней воды $(Z_{н/б})_{75\%}$ и $(Z_{н/б})_{85\%}$, можно заключить, что принятая в проекте расчетная гидрологическая величина $(Z_{н/б})_{58,33\%}$ не имеет должного обоснования. В связи с этим значение расчетного перепада уровней между отметками верхнего и нижнего бьефов канала составляет не $\Delta Z = Z_{в/б} - Z_{н/б} = 2,80 - 1,00 = 1,80$ м, а $\Delta Z'_{н/б} = 2,80 - 0,78 = 2,02$ м. Отмеченное несоответствие в расчетных значениях перепадов уровней воды на Усть-Манычских каналах (от отметок водохранилища до отметок устья реки) влечет за собой несоответствие принятой их протяженности, требуемой для выдерживания определенной скорости течения водного потока по их трактам.

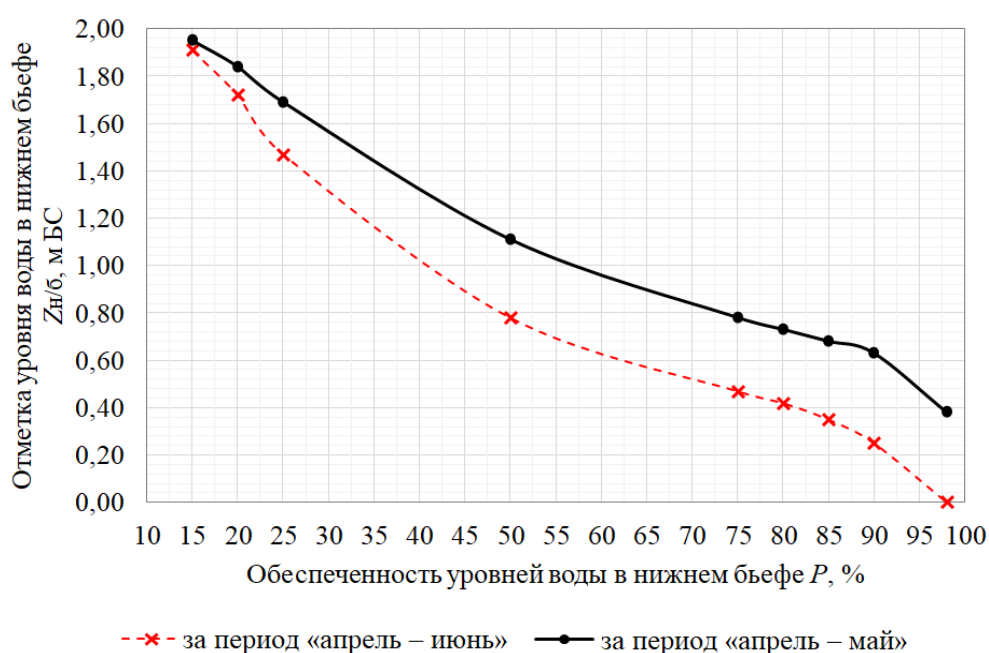


Рисунок 4 – Графическое представление значений функциональной связи $Z_{н/б} = f(P)$ для характерных значений обеспеченности отметок уровней воды в нижнем бьефе Усть-Манычского гидроузла

Figure 4 – Graphical presentation of the functional relationship values $Z_{н/б} = f(P)$ for the characteristic values of security water level marks in the downstream of the Ust-Manych waterworks

Указанное несоответствие гидрологических параметров (уровней воды в реке) усугубляется при использовании значений $Z_{н/б} = f(P)$, установленных по трехмесячному периоду наблюдений. В этом случае расчетный перепад уровней воды в каналах составит $(\Delta Z)_{75\%} = 2,80 - 0,47 = 2,33$ м, что значительно (на 22,7 %) превышает принятое в проекте $\Delta Z = 1,80$ м.

Наряду с указанными техническими ошибками в определении гидрологических характеристик, в проекте не рассмотрены режимы работы рыбоходных каналов в реальном диапазоне колебаний перепадов уровней воды на плотине Усть-Манычского гидроузла от $(\Delta Z)_{85\%} = 2,45$ м (при $P = 85\%$) до $(\Delta Z)_{15\%} = 0,89$ м (при $P = 15\%$).

В гидрологических материалах проекта Усть-Манычских рыбоходных каналов отсутствуют гидрологические сведения о расходах р. Западный Маныч и их расчеты, обоснование принятых расчетных значений расходов рыбоходных каналов № 1 ($Q_{к/1} = 9,0$ м³/с) и № 2 ($Q_{к/2} = 6,0$ м³/с).

Одной из гидрологических характеристик, используемых при проектировании рыбоходных каналов (и, в частности, при оценке качества условий для привлечения рыб в канал), является величина средней скорости течения водного потока в определенных створах реки. В рассматриваемом случае такими характеристиками являются средние скорости течения в створах, соответствующих входу рыб из реки в рыбоходные каналы № 1 (низовой) и № 2 (верховой) (см. рисунок 1). В проектных материалах такие сведения отсутствуют, что потребовало проведения соответствующих гидрологических изысканий для определения скоростей течения воды в реке.

В результате аналитической обработки материалов гидрометрических измерений морфометрии русел и скоростей течения воды в указанных на рисунке 1 створах 1 и 2 (соответствующих расположению входных оголовков в каналах), зафиксированных при различных уровнях и расходах

воды в р. Западный Маныч, получены расчетные зависимости, описывающие функциональную связь $\bar{v}_p = f(Q_{p,i} \cdot Z_{н/б})$ и имеющие вид:

$$\bar{v}_{p,1} = \frac{Q_{p,i}}{40} \cdot (0,091 \cdot Z_{н/б}^2 - 0,422 \cdot Z_{н/б} + 0,650),$$
$$\bar{v}_{p,2} = \frac{Q_{p,i}}{40} \cdot (0,081 \cdot Z_{н/б}^2 - 0,366 \cdot Z_{н/б} + 0,556),$$

где $\bar{v}_{p,1}$ и $\bar{v}_{p,2}$ – средние скорости течения воды в створах 1 и 2, м/с;

$Q_{p,i}$ – расход воды, сбрасываемой плотиной Усть-Манычского гидроузла в нижний бьеф, в период нерестового хода анадромных рыб, м³/с;

$Z_{н/б}$ – отметка уровня воды в устье р. Западный Маныч, м БС.

В соответствии с гидрологическими данными замеров (за расчетный период нерестового хода рыб), расходы в р. Западный Маныч изменяются от 20,0 до 58,0 м³/с (при этом при $P = 25\%$: $(Q_p)_{25\%} = 40,6$ м³/с; при $P = 75\%$: $(Q_p)_{75\%} = 19,4$ м³/с; при $P = 85\%$: $(Q_p)_{85\%} = 15,8$ м³/с), что и принято при дальнейшем анализе проекта рыбоходных каналов и, в частности, при расчете значений показателя качества условий для привлечения рыб из р. Западный Маныч в каналы № 1 и № 2.

Входное (для рыб) сечение тракта рыбоходного канала, обеспечивающее его сопряжение с руслом реки, выполнено трапецеидальным с принятыми «размерами типичного поперечного сечения канала». Пример продольного профиля подходного участка канала № 2 (в соответствии с проектом «мелиоративно-рыбоходного канала») представлен на рисунке 5.

Судя по данным рисунка 5, отметка дна Усть-Манычского рыбоходного канала № 2 в створе его сопряжения с руслом р. Западный Маныч составляет $Z_{дна} = 0,2$ м БС. При другой отметке дна канала и отметке уровня воды в реке $Z_{н/б} = 0,2$ м глубина потока составит $h_k = 1,2$ м (при ее расчетном значении 1,0–0,5 м). При отметке дна реки $(Z_{дна})_{реки} = -1,5$ м БС дно ры-

боходного канала возвышается над дном реки на высоту 1,2 м. При таком сопряжении русел канала и реки не выполняется одно из определяющих требований, предъявляемых к конструкциям входных участков в рыбопропускные сооружения, которое предусмотрено действующим нормативным актом¹.

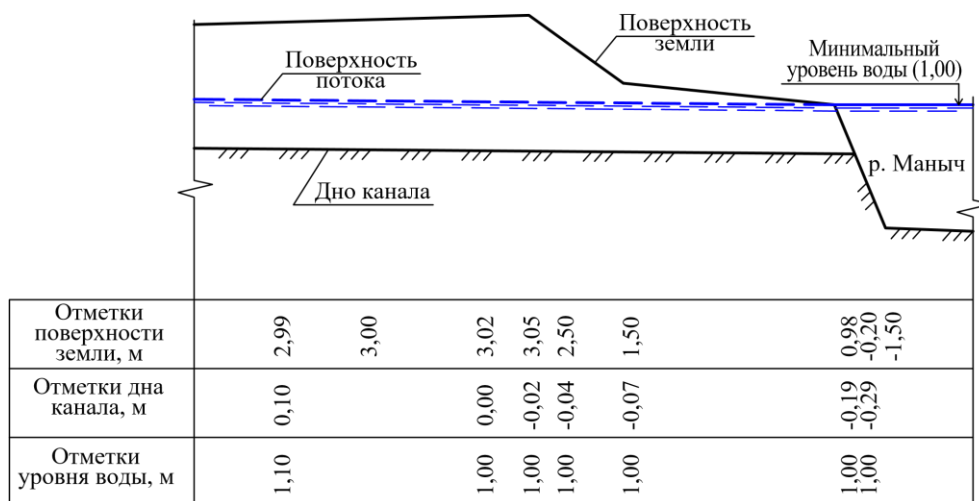


Рисунок 5 – Продольный разрез по устьевому (для потока) участку рыбоходного канала № 2

Figure 5 – Longitudinal section along the mouth reach (for flow) of the fish passage channel no. 2

Вид на входной участок рыбоходного канала приведен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Вид на вход (для рыб) в рыбоходный канал (фото В. Н. Шкуры)

Figure 6 – View of the entrance (for fish) to the fish passage channel (photo by V. N. Shkura)

¹Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87: СП 101.1330.2012: утв. Мин-регионразвития России 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13. М., 2012. 69 с.

Качество условий, влияющих на заход анадромных видов рыб из рек в рыбопропускные сооружения, определяется топографическими и гидравлично-гидрологическими условиями в зоне сопряжения русел и потоков канала и реки и удаленностью входного створа рыбоходного канала от водоподпорных сооружений речного гидроузла.

В проекте отсутствуют расчеты по оценке качества условий для привлечения рыб из р. Западный Маныч в рыбоходные каналы. В соответствии с данными анализа конструктивного решения и исполнения входа в каналы можно сделать заключение о неудовлетворительных условиях для захода в них рыб. Сделанное выше заключение объясняется нижеследующим.

1 В проекте не обеспечивается необходимое для рыб конструктивное сопряжение русла канала с руслом р. Западный Маныч. Судя по данным рисунка 5, дно рыбоходного канала располагается на высоте 2 м над дном русла реки. В этих условиях рыбы, перемещающиеся в придонном слое речного потока (с доминирующей тактильной ориентацией), будут проплывать далее по реке в придонном горизонте, а их вертикальное перемещение для захода в канал практически исключается. Данное обстоятельство позволяет прогнозировать заход в канал рыб, мигрирующих только в толще или в поверхностном слое водного потока. Подтверждают это заключение данные авторских исследований плавучей установки для накопления и транспортировки рыбы [16], в которой дно рыбонакопителя располагается над дном речного русла (на глубине от 0,3 до 0,5 глубины воды в реке). Несмотря на наличие в установке сопрягающего устройства (сопрягающей площадки), заход донных и придонных рыб в нее не наблюдался. Данное обстоятельство предопределило низкую эффективность работы рыбопропускных шлюзов, устроенных в составе Николаевского и Константиновского гидроузлов на р. Дон [17]. И наоборот, при сопряжении дна рыбонакопителя с дном русла р. Дон по схеме «дно в дно» на Кочетовском гидроузле в рыбопропускной шлюз в массовом количестве заходили производители придонных рыб (осетр, белуга, севрюга и др.).

2 Указанное обстоятельство в виде неудовлетворительного топографического сопряжения русел каналов и реки усугубляется при отметках уровней воды в реке менее расчетного значения, равного 1,0 м БС. Так, при $Z_{н/б} = 0,0$ м БС исходящий из каналов водный поток будет изливаться в русло реки на поверхность воды в ней. В связи с указанным выше отметим, что отсутствие крепления русла канала на устьевом его участке позволяет прогнозировать его размыв по глубине и в плане. При этом условия топографического сопряжения русел каналов и р. Западный Маныч кардинально изменяются и повлекут за собой изменение гидравлических условий течений сопрягающихся потоков на входе в тракт рыбоходного канала.

3 При принятой конструкции входа в канал создаются неблагоприятные гидрометрические условия для формирования «привлекающего рыб скоростного шлейфа водного потока». Кроме топографических условий на параметры «шлейфа» оказывают влияние уровни и расходы в устье р. Западный Маныч и скорости истекающих из каналов потоков воды.

Характер течений на выходных для канальных потоков (входных для рыб) участках каналов и в зонах сопряжения потоков каналов и реки при низких уровнях воды в р. Западный Маныч представлен на рисунке 7.

При различных сочетаниях указанных факторов влияния геометрические и скоростные параметры «шлейфа» привлечения могут изменяться в широком диапазоне их значений [13, 14, 18, 19]. Отметим, что соответствующие прогнозные расчеты с целью определения количественных показателей качества условий для привлечения рыб в проекте рыбоходных каналов отсутствуют, это не позволяет оценить эффективность принятого конструктивного решения входов в рыбоходные каналы без проведения авторских расчетов.



Рисунок 7 – Характер течений на подходном участке к Усть-Манычскому рыбоходному каналу при низких уровнях воды в р. Западный Маныч (фото В. Н. Шкуры)

Figure 7 – The nature of the currents in the approach section to the Ust-Manych fish passage channel at low water levels in the river Western Manych (photo by V. N. Shkura)

В связи с этим выполнены расчеты для оценки рыбопривлекающей способности каналов с использованием их проектных гидрометрических параметров. Показатели качества условий для привлечения рыб из реки в канал ($\Pi_{к/у}$) определялись для расчетных условий их функционирования с использованием следующей зависимости:

$$\Pi_{к/у} = 100 \cdot \frac{Q_k}{Q_p} \cdot \left(\frac{\bar{v}_k}{\bar{v}_p} \right)^{0,5} \cdot \left(1 + 5 \cdot \frac{\bar{B}_k}{\bar{B}_p} \right)^{0,5} \cdot \left[1 - 0,2 \cdot \left(\frac{L_{уд}}{L_{з/п}} \right)^{0,3} \right],$$

где $\Pi_{к/у}$ – параметр качества условий для привлечения мигрирующих по р. Западный Маныч рыб к входному створу рыбоходного канала, %;

Q_k , Q_p – расходы воды в рыбоходном канале и реке, м³/с;

$\bar{v}_k$, $\bar{v}_p$ – значения скоростей течения воды в канале и реке, м/с;

$\bar{B}_k$, $\bar{B}_p$ – средние значения ширины рыбоходного канала и реки, м;

$L_{уд}$, $L_{з/п}$ – удаленность створа расположения входа в рыбоходный канал и нижней границы поисков от створа плотины речного гидроузла, м.

Результаты выполненных расчетов приведены ниже в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета параметра качества условий для привлечения рыб в Усть-Манычский обходной канал № 2

Table 2 – Results of calculating the quality parameter of conditions for attracting fish to the Ust-Manych bypass channel no. 2

Параметр	Значение параметра*					
$Z_{н/б}$, м БС	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
H_p , м	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
$\bar{B}_p$, м	60,0	62,0	65,0	68,0	71,0	74,0
ω_p , м ²	60,0	93,0	130,0	170,0	213,0	259,0
$(\bar{v}_p)_{40}$, м/с	0,67	0,43	0,31	0,24	0,19	0,15
$(\bar{v}_p)_{30}$, м/с	0,50	0,32	0,23	0,18	0,14	0,11
$(\bar{v}_p)_{20}$, м/с	0,34	0,22	0,16	0,12	0,10	0,08
$\bar{B}_k$, м	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50	8,75
ω_k , м ²	7,50	11,62	16,00	20,62	25,50	30,62
$\bar{v}_k$, м/с	0,80	0,52	0,38	0,29	0,23	0,20
$\bar{B}_k / \bar{B}_p$	0,125	0,125	0,123	0,121	0,120	0,118
$\bar{v}_k / (\bar{v}_p)_{40}$, м ³ /с	1,19	1,21	1,23	1,21	1,21	1,33
$\bar{v}_k / (\bar{v}_p)_{30}$, м ³ /с	1,60	1,62	1,65	1,61	1,64	1,82
$\bar{v}_k / (\bar{v}_p)_{20}$, м ³ /с	2,35	2,36	2,38	2,42	2,30	2,50
$(\Pi_{к/у})_{40}$, %	15,10	14,31	14,35	13,80	13,63	15,70
$(\Pi_{к/у})_{30}$, %	17,50	22,30	22,45	21,25	21,54	18,40
$(\Pi_{к/у})_{20}$, %	21,20	39,12	38,70	39,04	35,69	21,60
*Примечания 1 Параметры русел реки и канала приняты по створу их сопряжения. 2 Параметры канала: $Q_{к,1} = 9,0$ м³/с; $h_{к,1} = 1,0$ м; $b_{к,1} = 7,0$ м; $L_{уд} = 500$ м; $L_{з/п} = 100$ м. Расшифровка обозначений таблицы 2: $Z_{н/б}$ – отметка уровня воды в нижнем бьефе гидроузла, м БС; H_p – глубина реки в расчетном створе, м; ω_p – площадь живого сечения, м²; $(\bar{v}_p)_{40}, (\bar{v}_p)_{30}, (\bar{v}_p)_{20}$ – скорость течения в реке при 40, 30 и 20% обеспеченности расхода, м/с; $\bar{B}_k$ – средняя ширина канала, м; ω_k – площадь поперечного сечения канала, м²; $\bar{v}_k$ – средняя скорость течения потока воды в рыбоходном канале, м/с; $(\Pi_{к/у})_{40}, (\Pi_{к/у})_{30}, (\Pi_{к/у})_{20}$ – показатель качества условий привлечения рыб в рыбоходный канал при 40, 30 и 20% обеспеченности расхода, %.						

Выводы. В результате выполненных расчетов (с использованием вышеприведенной расчетной зависимости) с целью определения показателя

качества условий для привлечения рыб в Усть-Манычские рыбоходные каналы установлено, что значения параметра $P_{к/у}$ для канала № 1 изменяются от 27,3 до 45,3 %, а для канала № 2 находятся в диапазоне 15,1–21,6 %. В соответствии со значениями показателя $P_{к/у}$ прогнозируется привлечение и заход рыб в рыбоходные каналы (при оптимальном показателе условий) в количестве 45,3 и 21,6 % от численности рыб, мигрирующих по р. Западный Маныч, что значительно уступает данным показателям Кочетовского рыбопропускного шлюза, находящимся в диапазоне 52–61 %.

Список источников

1. Дубинина В. Г. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3, № 1. С. 67–97. DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027.
2. Дубинина В. Г., Никитина О. И. Об учете экологического фактора при управлении водными ресурсами водохранилищ // Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление: сб. материалов всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 80–87.
3. Рыбохозяйственные исследования России в Азово-Черноморском бассейне (к 90-летию ФГБНУ «АзНИИРХ») / В. Н. Белоусов, Т. М. Брагина, Л. А. Бугаев, Ю. И. Реков // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 1. С. 11–31. DOI: 10.47921/2619-1024_2018_1_1_11.
4. Белоусов В. Н. Последний рубеж естественного воспроизводства в Азово-Донском районе // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 14–19.
5. Косолапов А. Е., Коржов И. В. Управление водными ресурсами Нижнего Дона в условиях противоречивых интересов водопользователей // Водные ресурсы России: современное состояние и управление: материалы всерос. науч.-практ. конф., г. Сочи, 8–14 окт. 2018 г. Новочеркасск: Лик, 2018. Т. 1. С. 183–189.
6. Жукова С. В. Обеспеченность водными ресурсами рыбного хозяйства Нижнего Дона // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3, № 1. С. 7–19. DOI: 10.47921/2619-1024_2020_3_1_7.
7. Ковалёва Г. В. К флоре диатомовых водорослей Усть-Манычского водохранилища (Западенский и Шахаевский лиманы) // Труды Южного научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 7. С. 69–103. DOI: 10.23885/1993-6621-2018-7-69-103.
8. О рыбохозяйственном значении Веселовского водохранилища реки Маныч Ростовской области / Н. В. Чернышенко, В. Л. Гапонов, С. В. Гапонов, Е. Ю. Гапонова, Т. Н. Савускан // Актуальные проблемы науки и техники. 2019: материалы нац. науч.-практ. конф. 2019. С. 176–177.
9. Проект «Мелиоративно-рыбоходный канал Усть-Манычского гидроузла в Багаевском районе Ростовской области» / ООО «Производств. предприятие «Каскад». Ростов н/Д., 2008. 142 с.
10. Иваненко И. Н., Жукова С. В. Рыбоводно-биологическое обоснование строительства и разработка нормативов обводного канала Усть-Манычского ГУ / АзНИИРХ. Кн. 2. Ростов н/Д., 2004. 38 с.

11. Анохин А. М., Сапегин А. П. Обоснование строительства рыбоходного канала на р. Западный Маныч на Усть-Манычском гидроузле // Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны. Труды Академии проблем водохозяйственных наук: сборник / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации; Акад. проблем водохоз. наук России; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск, 2005. С. 97–100.
12. Шкура Вл. Н., Дроботов А. Н. Рыбоходные и рыбоходно-нерестовые каналы / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: НГМА, 2012. 203 с.
13. Шкура Вл. Н., Михальчук А. В. Результаты натурных исследований рыбоходно-нерестового канала на р. Западный Маныч // Рыбоохранные мелиорации и сооружения: материалы всерос. науч.-практ. конф. / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. 2010. С. 61–66.
14. Чистяков А. А. Конструкции рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов: учеб. пособие / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск, 2004. 150 с.
15. Храпковский В. А., Шкура В. Н. Об ошибках в проекте «мелиоративно-рыбоходного» канала Усть-Манычского гидроузла // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию со дня рождения акад. РАСХН Б. Б. Шумакова / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Отд-ние мелиорации, вод. и лес. хоз-ва Россельхозакадемии, Новочеркас. гос. мелиоратив. акад., Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. 2008. С. 234–241.
16. Шкура В. Н. Рыбопропускные сооружения. В 2 ч. Ч. 1. М.: Рома, 1999. 380 с.
17. Павлов Д. С., Скоробогатов М. А. Миграции рыб в зарегулированных реках. М.: КМК, 2014. 413 с.
18. 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: 30.01.2022).
19. 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.

References

1. Dubinina V.G., 2019. *Trebovaniya rybnogo khozyaystva pri upravlenii rezhimami vodokhranilishch* [Requirements for fishery under water reservoir management]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], vol. 3, no. 1, pp. 67-97, DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027. (In Russian).
2. Dubinina V.G., Nikitina O.I., 2019. *Ob uchete ekologicheskogo faktora pri upravlenii vodnymi resursami vodokhranilishch* [Considering environmental factor in water resources management of reservoirs]. *Vodokhranilishcha Rossiyskoy Federatsii: sovremennye ekologicheskie problemy, sostoyanie, upravlenie: sb. materialov vsrossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Reservoirs of the Russian Federation: Modern Environmental Problems, State, Management: Proc. of the All-Russian Scientific-Practical Conference], pp. 80-87. (In Russian).
3. Belousov V.N., Bragina T.M., Bugaev L.A., Rekov Yu.I., 2018. *Rybokhozyaystvennye issledovaniya Rossii v Azovo-Chernomorskom bassejne (k 90-letiyu FGBNU "AzNIIRKH")* [Fishery research of Russia in the Azov-Black Sea basin (on the occasion of the 90th anniversary of the FSBSI "Azov Sea Research Fisheries Institute")]. *Vodnyye bioresursy i sreda obitaniya* [Aquatic Bioresources & Environment], vol. 1, no. 1, pp. 11-31, DOI: 10.47921/2619-1024_2018_1_1_11. (In Russian).
4. Belousov V.N., 2016. *Posledniy rubezh estestvennogo vosproizvodstva v Azovo-Donskom rayone* [The last frontier of natural fish reproduction in the Azov-Don region]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries], no. 4, pp. 14-19. (In Russian).
5. Kosolapov A.E., Korzhov I.V., 2018. *Upravlenie vodnymi resursami Nizhnego Dona*

v usloviyakh protivorechivyykh interesov vodopol'zovateley [Water management of the Lower Don in the context of conflicting interests of water users]. *Vodnye resursy Rossii: sovremennoe sostoyanie i upravlenie: materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Water Resources of Russia: Current State and Management: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference]. Novocherkassk, Lik Publ., vol. 1, pp. 183-189. (In Russian).

6. Zhukova S.V., 2020. *Obespechennost' vodnymi resursami rybnogo khozyaystva Nizhnego Dona* [Provision of water resources for the fish industry of the Lower Don]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya* [Aquatic Bioresources & Environment], vol. 3, no. 1, pp. 7-19, DOI: 10.47921/2619-1024_2020_3_1_7. (In Russian).

7. Kovaleva G.V., 2018. *K flore diatomovykh vodorosley Ust'-Manychskogo vodokhranilishcha (Zapadenskiy i Shakhaevskiy limany)* [On the diatom flora of the Ust-Manych reservoir (Zapadensky and Shakhaevsky estuaries)]. *Trudy Yuzhnogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proc. of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], vol. 7, pp. 69-103, DOI: 10.23885/1993-6621-2018-7-69-103. (In Russian).

8. Chernyshenko N.V., Gaponov V.L., Gaponov S.V., Gaponova E.Yu., Savuskan T.N., 2019. *O rybokhozyaystvennom znachenii Veselovskogo vodokhranilishcha reki Manych Rostovskoy oblasti* [On the fishery importance of the Veselovsky reservoir of the Manych River in Rostov Region]. *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki: materialy natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual Problems of Science and Technology. Proc. of National Scientific-Practical Conference], pp. 176-177. (In Russian).

9. *Proekt "Meliorativno-rybokhodnyy kanal Ust'-Manychskogo gidrouzla v Bagaevskom rayone Rostovskoy oblasti"* [The Project "Reclamation and Fish Passage Canal of the Ust-Manych Waterworks in Bagaevsky District Rostov Region"]. Rostov-on-Don, Industrial Enterprise "Kaskad", 2008, 142 p. (In Russian).

10. Ivanenko I.N., Zhukova S.V., 2004. *Rybovodno-biologicheskoe obosnovanie stroitel'stva i razrabotka normativov obvodnogo kanala Ust'-Manychskogo GU* [Fish Breeding and Biological Substantiation of Construction and Development of Standards for the Bypass Canal of Ust-Manych SU]. AzNIIRH, b. 2, Rostov-on-Don, 38 p. (In Russian).

11. Anokhin A.M., Sapegin A.P., 2005. *Obosnovanie stroitel'stva rybokhodnogo kanala na r. Zapadnyy Manych na Ust'-Manychskom gidrouzle* [Rationale for the construction of a fish passage channel on the river Western Manych at Ust-Manych waterworks]. *Okhrana i vozobnovleniye gidroflory i ikhtiofauny. Trudy Akademii problem vodokhozyaystvennykh nauk* [Protection and Renewal of Hydroflora and Ichthyofauna. Proc. of the Academy of Problems of Water Management Sciences]. Novocherkassk, pp. 97-100. (In Russian).

12. Shkura V.I.N., Drobotov A.N., 2012. *Rybokhodnye i rybokhodno-nerestovye kanaly* [Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy, Novocherkassk, 203 p. (In Russian).

13. Shkura V.I.N., Mikhalechuk A.V., 2010. *Rezultaty naturnykh issledovaniy rybokhodno-nerestovogo kanala na r. Zapadnyy Manych* [The results of field studies of the fish-walking-spawning canal on the river Zapadny Manych]. *Rybookhrannye melioratsii i sooruzheniya: materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Fish Conservation Reclamation and Facilities: Proc. of the All-Russian Scientific-Practical Conference]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy, pp. 61-66. (In Russian).

14. Chistyakov A.A., 2004. *Konstruktsii rybokhodnykh i rybokhodno-nerestovykh kanalov: uchebnoe posobie* [Designs of Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels: textbook]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy, Novocherkassk, 150 p. (In Russian).

15. Khrapkovsky V.A., Shkura V.N., 2008. *Ob oshibkakh v proekte "meliorativno-rybokhodnogo" kanala Ust'-Manychskogo gidrouzla* [On the mistakes in the project of the "reclamation-fish passage" canal of the Ust-Manych waterworks]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu so dnya*

rozheniya akad. RASKHN B. B. Shumakova [Land Reclamation and Water Management: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference, Dedicated to the 75th Anniversary of the Birth of Acad. RAAS B. B. Shumakov]. Ministry of Agriculture of RF, Department of Water Management and Forestry of the Russian Agricultural Academy, Novocherkassk State Land Reclamation Academy, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, pp. 234-241. (In Russian).

16. Shkura V.N., 1999. *Rybopropusknye sooruzheniya* [Fish Passing Structures]. In 2 parts, pt. 1, Moscow, Roma Publ., 380 p. (In Russian).

17. Pavlov D.S., Skorobogatov M.A., 2014. *Migratsii ryb v zaregulirovannykh rekakh* [Fish Migrations in Regulated Rivers]. Moscow, KMK, 413 p. (In Russian).

18. Borovskoy V.P., Garbuz A.Yu., Baev O.A., 2018. [Method of hydraulic calculation of a spawning canal with different-fraction 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 30.01.2022]. (In Russian).

19. 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.

Информация об авторах

О. А. Баев – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

А. В. Шевченко – младший научный сотрудник, аспирант;

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор.

Information about the authors

O. A. Baev – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

A. V. Shevchenko – Junior Researcher, Postgraduate Student;

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor.

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

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

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

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.09.2022; одобрена после рецензирования 18.10.2022; принята к публикации 15.11.2022.

The article was submitted 30.09.2022; approved after reviewing 18.10.2022; accepted for publication 15.11.2022.