

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 639.3:626.88

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-349-366

Рыбоходно-нерестовый комплекс в составе Багаевского гидроузла на реке Дон

**Виктор Николаевич Шкура¹, Олег Андреевич Баев²,
Алексей Викторович Шевченко³**

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

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

³rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Аннотация. Цель: разработка компоновочно-конструктивного решения Багаевского пригидроузлового рыбоходно-нерестового комплекса на основе рыбоходно-нерестового канала для прохода и нереста лито- и реофилов и системы управляемых нерестилищ для фитофильных видов рыб. **Материалы и методы.** Фактологическую основу разработки составили данные о рыбоведческих, гидрологических, социально-хозяйственных и топографических условиях создания и функционирования комплекса рыбохозяйственных сооружений, устраиваемых при Багаевском гидроузле на р. Дон. При разработке технических решений комплекса использовались методы научного анализа и технологии поискового конструирования. **Результаты.** Учитывая современное состояние естественного воспроизводства особо ценных проходных (осетровых, сельдевых и карповых), ценных полупроходных рыб (леща, судака, сазана, тарани) и особую рыбоводческую значимость Багаевского гидроузла, предложили устройство в его составе рыбоходно-нерестового комплекса, включающего рыбоходно-нерестовый канал и систему искусственных нерестилищ с управляемым режимом средовых условий в канале и в нерестовых прудах. Предложено устройство рыбоходно-нерестового канала меандрической формы длиной 5325 м трапецидального сечения с шириной по дну 36,0 м и глубиной водного потока 2,5 м, рассчитанного на пропуск 100 куб. м/с, со средней скоростью течения 0,895 м/с. Канал выполняется с уклоном, равным 0,000338, а его дно и откосы закрепляются гравийно-галечно-каменной смесью разноразмерного фракционного состава, являющейся креплением его ложа и нерестовым субстратом для литофилов. Внутри меандров канала предусмотрено наличие нерестово-выростных прудов с соответствующими условиями для их использования фитофильными видами рыб. **Выводы.** Для обеспечения воспроизводства популяций лито- и фитофильных видов рыб в верхних бьефах речных гидроузлов предложено устраивать пригидроузловые рыбоходно-нерестовые комплексы. Разработано компоновочно-конструктивное решение рыбоходно-нерестового комплекса для условий его устройства и функционирования в составе низконапорного Багаевского гидроузла на р. Дон.

Ключевые слова: рыбоходно-нерестовый канал, анадромные рыбы, искусственное нерестилище, тракт рыбоходного канала, входной и выходной оголовки канала

Для цитирования: Шкура В. Н., Баев О. А., Шевченко А. В. Рыбоходно-нерестовый комплекс в составе Багаевского гидроузла на реке Дон // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 349–366. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-349-366>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Fish passage and spawning complex as a part of the Bagaevsky waterworks on the river Don

Viktor N. Shkura¹, Oleg A. Baev², Alexey V. Shevchenko³

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

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

³rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Abstract. Purpose: to develop a layout and design solution for the Bagaevsky fish passage and spawning complex near its waterworks on the basis of a fish passage and spawning channel for the passage and spawning of litho- and rheophils and a system of managed spawning grounds for phytophilous fish species. **Materials and methods.** The factual basis of the development was data on the fishery, hydrological, socio-economic and topographic conditions for the creation and operation of fishery facilities at the Bagaevsky waterworks on the river Don. When developing technical solutions for the complex, the methods of scientific analysis and search-design technologies were used. **Results.** Taking into account the current state of natural reproduction of especially valuable anadromous (sturgeon, herring and cyprinids), valuable semi-anadromous fish (bream, pike perch, carp, roach) and the special fish breeding significance of the Bagaevsky waterworks, it was proposed to build here a fish passage and spawning complex, including a fish passage and spawning channel and a system of artificial spawning grounds with controlled environmental conditions in the canal and spawning ponds. The installation of a meander-shaped fish passage and spawning channel with a length of 5325 m and a trapezoidal section with a bottom width of 36.0 m and a water flow depth of 2.5 m, designed to pass 100 cubic m/s, with an average flow velocity of 0.895 m/s is proposed. The channel is made with a slope of 0.000338, and its bottom and slopes are fixed with a gravel-pebble-stone mixture of different size fractional composition, which is the fastening of its bed and a spawning substrate for lithophiles. Spawning-growth ponds with appropriate conditions for their use by phytophilous fish species are provided inside the meanders of the canal. **Conclusions.** In order to ensure the reproduction of populations of litho- and phytophilic fish species in upstream of river waterworks, it is proposed to arrange fish passage and spawning complexes at waterworks. A layout and design solution for the fish passage and spawning complex has been developed for the conditions of its construction and operation as part of the low-head Bagaevsky waterwork on the river Don.

Keywords: fish passage and spawning canal, anadromous fish, artificial spawning ground, fish passage tract, inlet and outlet headwalls

For citation: Shkura V. N., Baev O. A., Shevchenko A. V. Fish passage and spawning complex as a part of the Bagaevsky waterworks on the river Don. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(4):349–366. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-349-366>.

Введение. Действующим в Российской Федерации природоохранным законодательством при любых видах природопользования предусматривается проведение средоохранных мероприятий и реализация комплексного

использования ресурсного потенциала природных объектов. Так, при осуществлении водопользования и строительстве гидроузлов на важных в рыбохозяйственном (рыбоводческом) отношении реках предусматриваются меры, исключаящие негативное воздействие на состояние водных экосистем в целом и на ихтиофауну в частности. На нерестовых реках предусматривается создание условий для прохода рыб к нерестилищам и их нереста. Эффективным средством, обеспечивающим реализацию указанных требований, являются пригидроузловые рыбоводные и рыбоходно-нерестовые комплексы. В состав таких комплексов в наиболее общем случае включаются сооружения для пропуска анадромно-мигрирующих рыб через напорный фронт гидроузла, искусственные нерестилища и объекты по искусственному воспроизводству гидробионтов [1]. Одним из наиболее простых видов таких комплексов являются пригидроузловые рыбоходно-нерестовые каналы, функционально позволяющие создать условия для прохода и нереста рыб. Пример тому – действующие рыбоходно-нерестовые каналы, устроенные в составе Николаевского и Константиновского гидроузлов. Опыт использования этих каналов и выполненные на них исследования позволили установить их основные достоинства и недостатки [2, 3], а также возможности для их совершенствования и формирования на их основе пригидроузловых рыбоводческих комплексов, что и было реализовано в проекте Багаевского гидроузла на р. Дон.

Целью настоящего исследования является разработка компоновочно-конструктивного решения Багаевского пригидроузлового рыбоходно-нерестового комплекса на основе рыбоходно-нерестового канала для прохода и нереста лито- и реофилов и системы управляемых нерестилищ для фитофильных видов рыб.

Материалы и методы. При разработке компоновочно-конструктивного решения Багаевского рыбоходно-нерестового комплекса использованы материалы авторских и результаты известных исследований действующ-

щих на Нижнем Дону рыбоходно-нерестовых каналов, а при анализе – технологии поискового конструирования сооружений и систем.

Результаты и обсуждение. Багаевский гидроузел предназначен для регулирования уровней воды в р. Дон на участке от его створа до створа вышерасположенного Кочетовского гидроузла в целях обеспечения необходимых судоходных глубин. В соответствии с условиями створа, его расположением (у х. Арпачин Багаевского района Ростовской области) и целевым назначением гидроузла (с учетом рыбохозяйственных требований) разрабатывалось его компоновочно-конструктивное решение. При выборе компоновки гидроузла учитывалось его возможное влияние на состояние экосистемы Нижнего Дона в целом и условия естественного воспроизводства биоресурсов Азово-Донского водного бассейна в частности. При разработке технических решений учитывалось особо важное рыбохозяйственное значение региона и важность обеспечения охраны ихтиофауны и популяций особо ценных проходных и ценных полупроходных видов рыб, сохранения генофонда и обеспечения рыбоводных предприятий и хозяйств производителями рыб, восстановления и роста масштабов естественного воспроизводства водных биоресурсов, запасов их промысловых видов и защиты «краснокнижных» видов. Возможные ущербы рыбному хозяйству и обоснованные (базирующиеся на предшествующем опыте негативного воздействия гидростроительства на состояние речного биотопа р. Дон) опасения по поводу нереальности обеспечения необходимых рыбоводческих условий на гидроузле отмечены в публикациях В. Г. Дубининой, В. Н. Белоусова, А. М. Анохина, В. А. Щепкиной [4–6]. Указанные обстоятельства предопределили высокий уровень требований к разработке проектных решений рыбоходно-нерестового комплекса Багаевского гидроузла. В процессе многовариантной проработки компоновок сооружений различного функционального предназначения и природных условий территории (русла и поймы р. Дон, речных островов Арпачин и Белый, располо-

жения поселений и объектов) был предложен и принят генпроектировщиком ОАО «Акватик» [7–9] наиболее приемлемый вариант компоновочно-конструктивного решения сооружений гидроузла (рисунок 1).

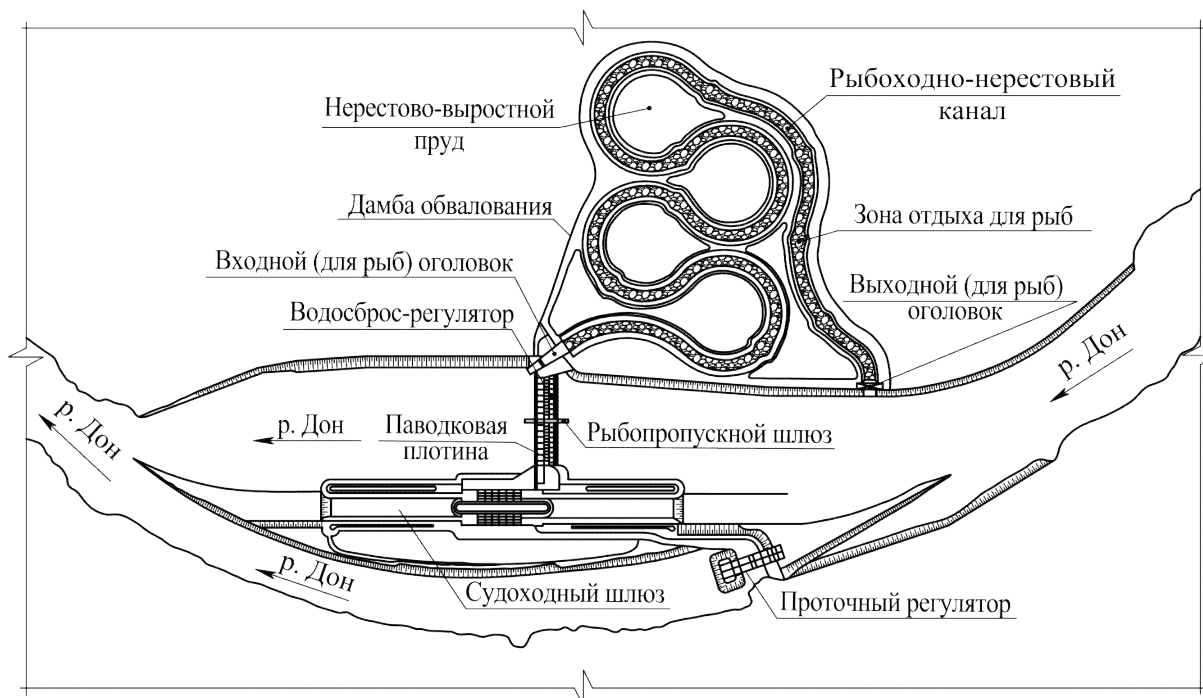


Рисунок 1 – План компоновочного решения сооружений Багаевского гидроузла на р. Дон
Figure 1 – Plan of the layout solution of the Bagaevsky waterwork structures on the river Don

Одним из объектов, рекомендованных к устройству в составе Багаевского гидроузла, является рыбоходно-нерестовый канал с блоком искусственных нерестилищ, определяемый как пригидроузловой рыбоходно-нерестовый комплекс. Багаевский рыбоводческий комплекс должен обеспечить условия: для прохода анадромно-мигрирующих рыб к сохранившимся выше гидроузла естественным нерестилищам и канальным нерестилищам Константиновского и Николаевского гидроузлов, нереста лито- и реафилов в тракте нерестово-рыбоходного канала, нереста и развития репродукционных материалов фитофилов в нерестовых прудках. Компоновочно-конструктивное решение рыбоходно-нерестового канала должно удовлетворять вышеуказанным требованиям. При разработке компоновочно-

конструктивного решения комплекса учитывались рыбоведческие, топографические, гидрологические и социально-хозяйственные условия территории, параметры и режимы работы сооружений речного гидроузла¹.

Исходная рыбоведческая информация, являющаяся основой для технического обоснования пригидроузовых рыбоходно-нерестовых каналов, аккумулируется в рыбоводно-биологическом обосновании (РБО) проекта.

Анализ материалов РБО, данных авторских исследований и сведений из ряда других источников ихтиологической информации [10–13] позволил определить необходимый объем рыбоведческих материалов для разработки технического обоснования проектных решений. Основные позиции рыбоведческих исходных данных заключаются в нижеследующем.

1 Ихтиофауна р. Дон на участке расположения Багаевского гидроузла представлена более чем 30 видами рыб. Из них анадромные миграции осуществляют проходные (белуга, севрюга, русский осетр, рыбец, шемая, сельдь) и полупроходные (судак, чехонь, сазан, азовский пузанок, тарань) виды. Местные нерестовые миграции осуществляют туводные виды рыб (стерлядь, щука, жерех, амур и др.). В качестве базовых видов для разработки технического обоснования рассмотрены особо ценные (проходные) и ценные (полупроходные) виды анадромно-мигрирующих рыб.

2 Пропускаемые из нижнего бьефа гидроузла в верхний производители рыб обладают различной плавательной способностью, им соответствуют разные значения крейсерских и привлекающих скоростей [10], а также разные глубины перемещений и особенности миграционного поведения при нерестовых миграциях. Для указанных видов рыб характерны разные количества нерестовых стад, сроки и интенсивности нерестового хода. Указанное выше предопределяет разные требования различных видов рыб

¹Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87 [Электронный ресурс]: СП 101.1330.2012: утв. Минрегионразвития России 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095534> (дата обращения: 07.07.2022).

к гидрологическим, пространственным и другим условиям среды для миграционных перемещений и нереста в рыбоходно-нерестовых каналах.

Учитывая многофакторность биогенных условий и широкий спектр подлежащих учету показателей рыбоведческого характера, при разработке технических решений рыбоходно-нерестового канала приняли нижеприведенные осредненные значения основных биологических параметров.

1 Расчетная глубина водного потока (h_k , м), протекающего по тракту пригидроузловому рыбоходно-нерестового канала (при отсутствии подпора со стороны нижнего бьефа гидроузла), может составлять $h_k \geq 2,5$ м. При превышении уровней воды в р. Дон в створе расположения входного (для рыб) сечения канала максимальные глубины водного потока (в зоне подпора) могут достигать 4 м. При отметках поверхности воды в нижнем бьефе меньше расчетных в устьевой (по потоку) части канала глубины могут уменьшаться до минимальных $(h_k)_{\min} = 2,4...2,3$ м.

2 Из-за необходимости создания условий для нереста осетровых минимальная ширина канала по дну (b_k , м) должна превышать $b_k \geq 25,0$ м.

3 Средняя расчетная скорость по живому сечению потока ($\bar{v}_k$, м/с) при расчетной глубине может быть принята равной $\bar{v}_k = 0,85...0,95$ м/с, что соответствует нормативным требованиям по скоростям плавания рыб.

4 В тракте канала на определенных расстояниях по всей протяженности (длине) необходимо предусмотреть устройство зон отдыха (отстоя) и (или) нереста рыб с соответствующими потребностям гидробионтов (рео-, лито- и фитофилов) гидрометрическими и нерестовыми условиями.

Указанные выше и востребованные анадромно-мигрирующими видами рыб параметры водной среды учтены при разработке технического решения канала и обеспечивающих его функционирование сооружений.

Гидрологические условия создания рыбоходно-нерестового канала характеризуются расходно-скоростными и уровенными параметрами по

нижнему (створу входа рыб из р. Дон в канал) и верхнему (створу выхода рыб из канала в р. Дон) бьефам гидроузла. Анализ данных о реке и режиме работы гидроузла позволил получить нижеследующие значения используемых при проектировании основных гидрологических величин.

1 Отметка уровня воды в верхнем бьефе $Z_{в/б} = (2,00 \pm 0,05)$ м БС.

2 Диапазон регулируемых сооружениями расходов воды составляет $Q_p = 250 \dots 1100$ м³/с. При этом расход реки 85% обеспеченности составил $(Q_p)_{85\%} = 310$ м³/с, а соответствующая ему отметка уровня воды в нижнем бьефе Багаевского гидроузла $(Z_{н/б})_{85\%} = 0,34$ м БС.

3 Уровни воды в нижнем бьефе Багаевского гидроузла ($Z_{н/б}$, м БС) определяются расходами р. Дон (Q_p , м³/с). Связь между указанными гидрологическими величинами описывается зависимостями:

$$Q_p = 113,3 \cdot Z_{н/б}^2 + 215,7 \cdot Z_{н/б} + 204,3,$$
$$Z_{н/б} = -7 \cdot 10^{-7} \cdot Q_p^2 + 0,0031 \cdot Q_p - 0,55.$$

4 Средняя величина скорости водного потока ($\bar{v}_{н/б}$, м/с), протекающего по руслу р. Дон, в створе расположения входа (для рыб) в рыбоходно-нерестовый канал (для диапазона расходов от 250 до 1100 м³/с) изменяется от 0,30 до 0,70 м/с и может быть определена по формуле, м/с:

$$\bar{v}_{н/б} = -5 \cdot 10^{-7} \cdot Q_p^2 + 0,0011 \cdot Q_p + 0,0558.$$

5 Диапазон регулируемых расходов изменяется от 250 до 1000 м³/с при диапазоне соответствующих указанным расходам отметок поверхности воды в нижнем бьефе 0,22–1,95 м БС.

6 В соответствии с данными гидрологических расчетов и условиями гидроузла расчетный перепад уровней воды на гидроузле (в рыбоходно-нерестовом канале) составит:

$$(\Delta Z)_{\text{рас}} = (Z_{в/б})_{\text{рас}} - (Z_{н/б})_{\text{рас}} = 2,0 - 0,34 = 1,66 \text{ м},$$

где $(\Delta Z)_{\text{рас}}$ – расчетный перепад отметок уровней воды на гидроузле, м;

$(Z_{\text{в/б}})_{\text{рас}}$, $(Z_{\text{н/б}})_{\text{рас}}$ – расчетные уровни воды в его верхнем и нижнем бьефе, м.

Принятые по РБО и гидрологическим расчетам параметры канала позволили провести гидравлический расчет его тракта [14, 15], результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты гидравлического расчета канала и принятые размеры его тракта

Table 1 – Results of the canal hydraulic calculation and accepted dimensions of its tract

Наименование параметра	Значение
Расчетный расход рыбоходно-нерестового канала Q_k , м ³ /с	100
Средняя расчетная скорость в живом сечении потока $\bar{v}_k$, м/с	0,895
Типичная форма поперечного сечения тракта канала	трапецеидальная
Средняя глубина водного потока h_k , м	2,5
Ширина тракта канала по дну b_k , м	36,0
Заложение откосов типичного сечения тракта канала	1:3,5
Средний по протяженности тракта канала уклон дна I_k^*	0,000338
Протяженность тракта рыбоходно-нерестового канала L_k , м	5325
*Определен для условий покрытия смоченной поверхности тракта (откосов и дна) канала разноразмерной гравийно-галечно-каменной смесью с диапазоном средних диаметров фракций от 30 до 135 мм (в пропорции 40:40:20 %).	

Установленные гидравлическим расчетом геометрические размеры канала и картографические материалы по прилегающему к гидроузлу земельному участку в правобережной пойме р. Дон были использованы при трассировании его тракта. При этом были учтены: ограничения по местам расположения культурно-исторических объектов, требования по компактности тракта канала, целесообразности устройства тракта канала излучинной (меандрической) формы в плане, рекомендации по расположению входного и выходного (для рыб) сечений канала в местах его сопряжения с руслом реки в нижнем и верхнем бьефах Багаевского гидроузла. Предложенное компоновочное решение канала проиллюстрировано рисунком 2.

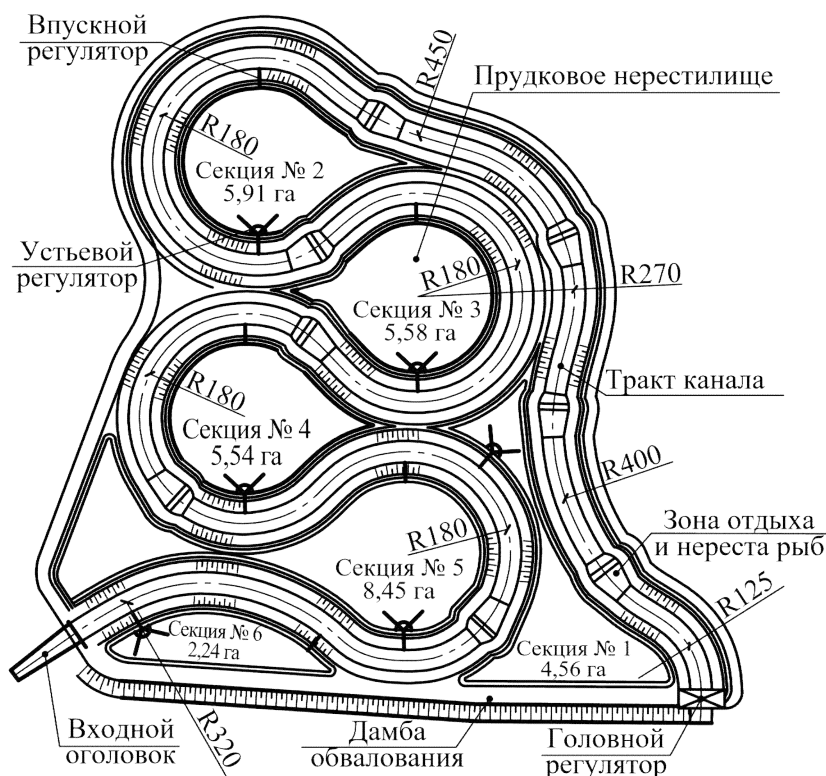


Рисунок 2 – План Багаевского рыбоходно-нерестового канала
Figure 2 – Plan of the Bagaevsky fish passage and spawning channel

Для компоновки канала характерны нижеследующие особенности.

1 Реализованная меандрическая форма тракта канала позволяет формировать разноскоростные (по глубине и в плане) зоны течений потока, что дает возможность рыбам выбирать приемлемые для них трассы перемещения. Разноскоростные зоны водного потока с отклонением значений скоростей $\pm(0,12...0,16)$ м/с от средней ее величины ($\bar{v}_k = 0,895$ м/с) проявляются у вогнутых и выпуклых участков рыбопропускного канала.

2 Компоновочная схема канала позволяет компактно расположить тракт канала на участке и сформировать во внутриконтурном пространстве замкнутые нерестовые прудки (секции) для фитофильных видов рыб.

3 Входное сечение канала расположено на удалении от створа плотины, составляющем 90,0 м, а выходное сечение – на расстоянии 1785 м, что соответствует нормативным требованиям и современным рекомендациям по устройству зон (участков) привлечения и выхода рыб.

4 В пределах концевой части тракта канала предусмотрено устройство четырех зон отдыха для рыб, представляющих собой уширенные и углубленные участки русла рыбоходно-нерестового канала.

5 На различных участках тракт канала выполнен в выемке и в полу-выемке-полунасыпи. Характерное поперечное сечение тракта рыбоходно-нерестового канала проиллюстрировано рисунком 3.

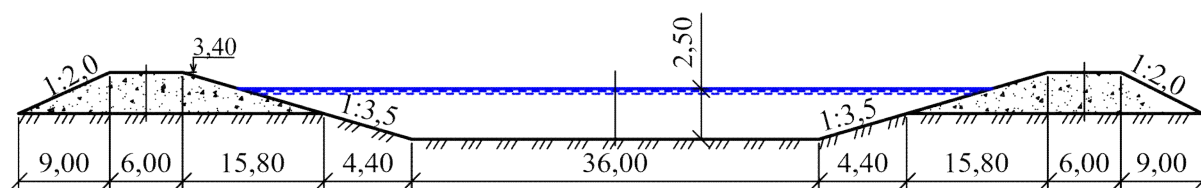


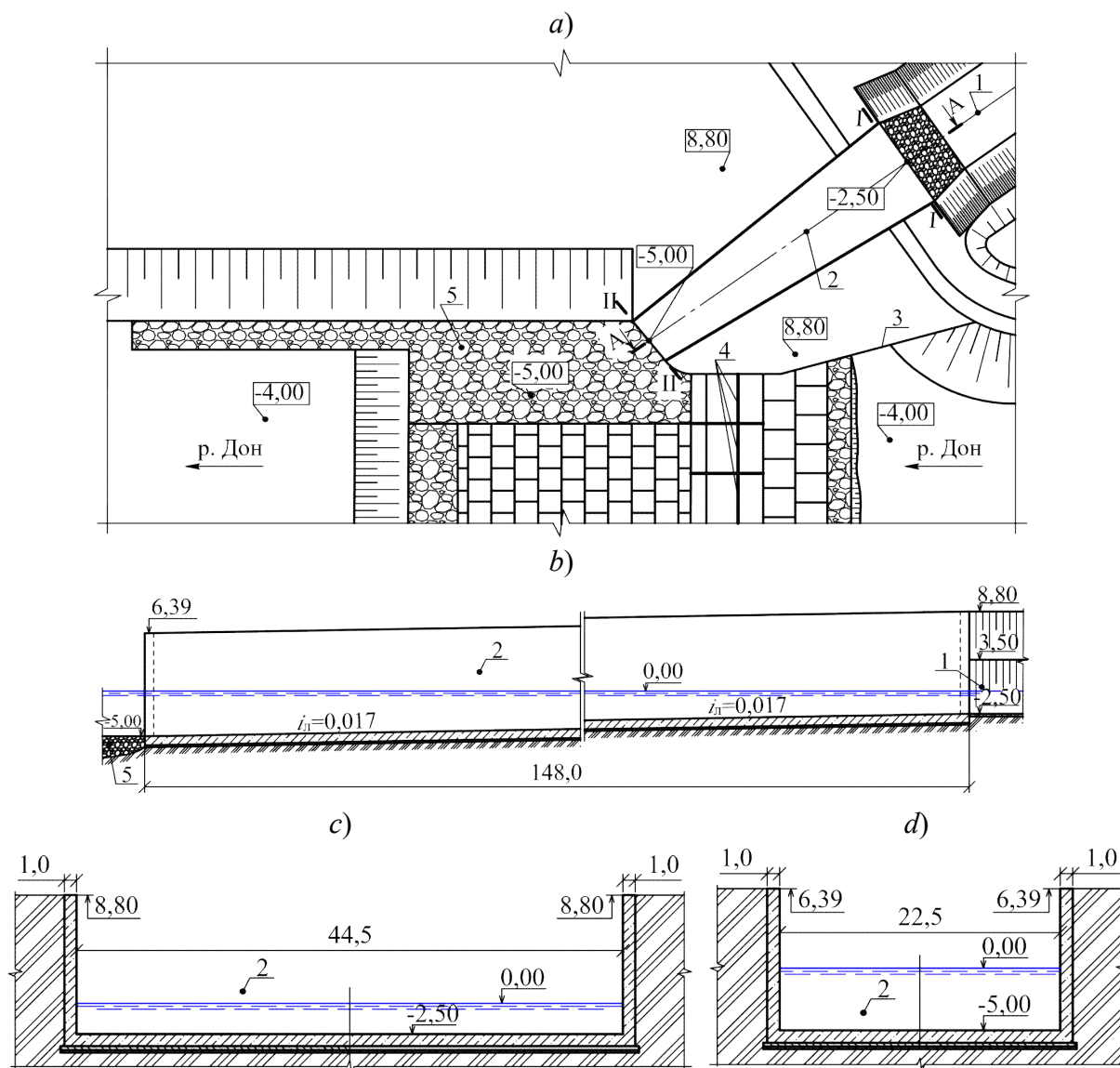
Рисунок 3 – Типичное поперечное сечение тракта канала

Figure 3 – Typical cross-section of the channel tract

6 Для предотвращения возникновения занесения и размывов рыбоходно-нерестового канала при пропуске катастрофических паводков предусмотрено его обвалование по внешнему периметру.

7 Устьевая часть канала обустроена входным оголовком, компоновочно-конструктивное решение которого проиллюстрировано рисунком 4.

Подходной участок к входному сечению канала выполняется с покрытием и укреплением железобетонными плитами при рациональном сопряжении с креплением рисбермы водосброса-регулятора и соответствующем сопряжении с зарисберменным пространством нижнего бьефа. Отметим, что для улучшения условий регулирования скоростей течения в сопрягающем лотке входного оголовка было предложено устройство дополнительного блока питания. Учитывая затратность строительства и эксплуатации данного сооружения, предложили использовать в качестве сооружения, регулирующего скоростной режим протекания водного потока у входа в канал, правобережный пролет водосброса-регулятора. Конструктивное решение в этом случае предусматривает ограничение ширины подходного участка устройством разделительной стенки.



a – план; *b* – продольный разрез А – А; *c*, *d* – поперечные сечения I – I и II – II;
 $i_{\text{л}}$ – продольный уклон по лотку входного (для рыб) оголовка канала;
1 – тракт рыбоходно-нерестового канала; *2* – сопрягающий лоток входного (для рыб) оголовка канала; *3* – подпорная стенка; *4* – пролеты водосброса-регулятора;
5 – подходной (для рыб) участок
a – plan; *b* – longitudinal section A – A; *c*, *d* – cross sections I – I and II – II;
 $i_{\text{л}}$ – longitudinal slope along the flume of the inlet (for fish) headwall of the channel;
1 – tract of the fish passage and spawning channel; *2* – mating flume of the inlet (for fish) headwall of the channel; *3* – bulkhead; *4* – spans of spillway-regulator; *5* – suitable area (for fish)

Рисунок 4 – Конструктивное решение подходного участка и входного (для рыб) оголовка

Figure 4 – Constructive solution of the approach plot and inlet headwall (for fish)

Компоновочно-конструктивное решение входного оголовка предусматривает формирование благоприятных условий для привлечения рыб

из руслового потока водосброса-регулятора к его входному сечению и последующего их перемещения в тракт пригидроузлового рыбоходно-нерестового канала (в соответствии с СП 101.1330.2012).

Входной оголовок обустроен лотком, обеспечивающим топографическое сопряжение русел тракта канала и р. Дон и соединение исходящего из канала водного потока с речным потоком в отводящем канале водосброса. Сопрягающий лоток (рисунок 4) выполнен с уклоном в направлении от тракта канала к руслу р. Дон, чем обеспечивается сопряжение отметок их дна. Сужение лотка в направлении уклона компенсирует возможное уменьшение скорости течения, вызываемое увеличением глубины потока.

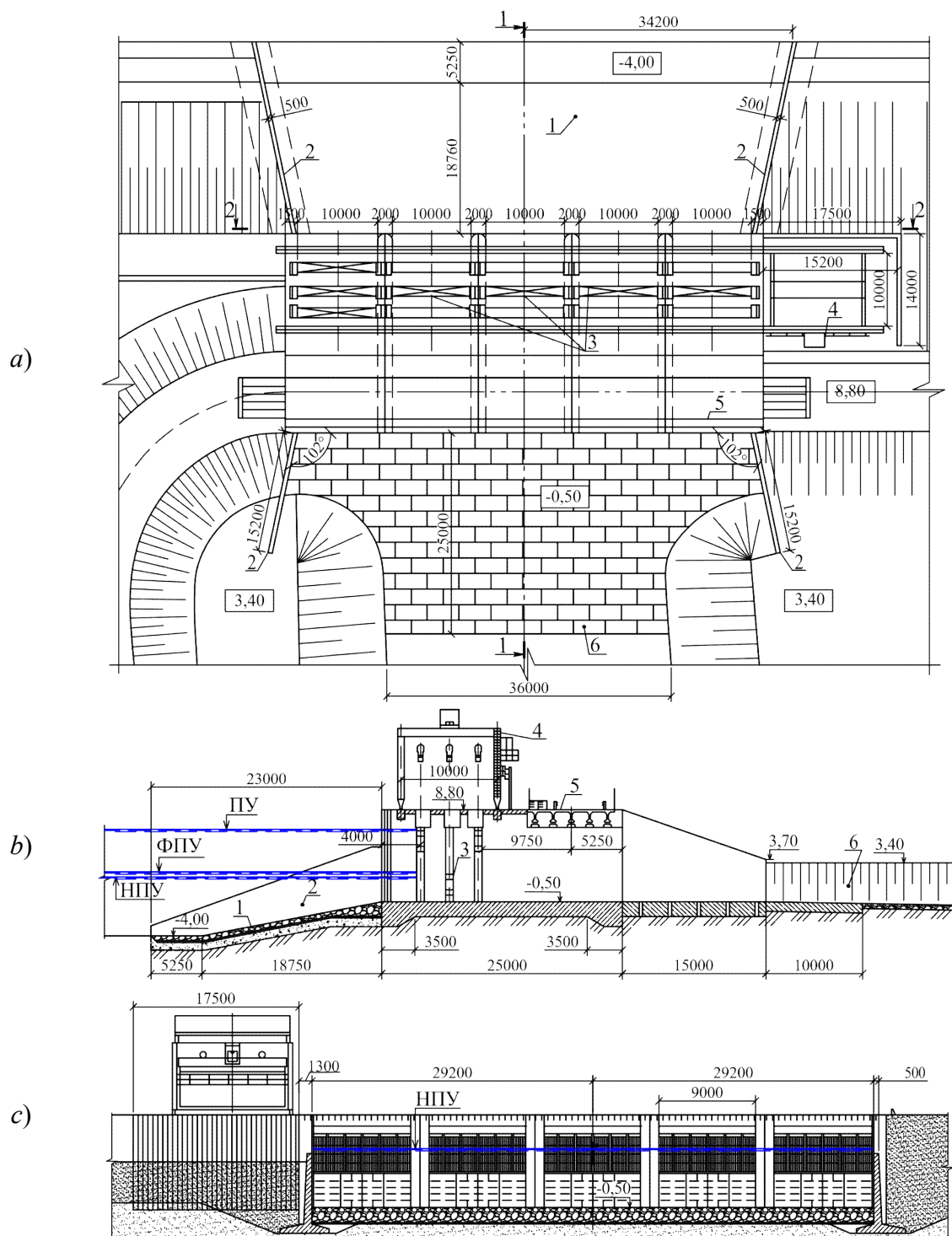
8 Истоковая (для водного потока) часть тракта канала обустроена выходным (для рыб) оголовком в составе головного регулирующего сооружения (головного регулятора) и участка, сопрягающего регулятор с водной акваторией верхнего бьефа гидроузла (водохранилищем).

Конструкция головного регулятора проиллюстрирована рисунком 5.

Конструкция 5-пролетного головного регулятора обеспечивает подачу в канал расхода $100 \text{ м}^3/\text{с}$ при нормальном подпорном уровне воды в верхнем бьефе гидроузла с перепадом в затворном створе, составляющим 0,05 м, при беспрыжковом типе сопряжения верхнего и нижнего бьефов.

Внутри контуров тракта канала предложено устроить шесть секций искусственного нерестилища для фитофильных рыб (см. рисунок 2), обустроенных водорыбовпускными и водорыбовыпускными сооружениями, конструктивное решение которых проиллюстрировано рисунком 6.

Конструктивное исполнение и размеры водорыбовыпуска и водорыбовпуска позволяют создать в секциях искусственного нерестилища (обустроенного растительным нерестовым субстратом) условия для захода, нереста, подращивания личинок, выхода фитофильных видов рыб в тракт рыбоходно-нерестового канала и последующего их ската в р. Дон.



ПУ, ФПУ, НПУ – соответственно паводковый, форсированный и нормальный подпорный уровни воды, м; 1 – входной участок; 2 – вертикальная стенка; 3 – затворы; 4 – подъемный кран; 5 – дорожный переезд; 6 – выходной участок
PU, FPU, NPU – flood, maximum and permanent water levels respectively, m; 1 – inlet section; 2 – vertical wall; 3 – gates; 4 – crane; 5 – road crossing; 6 – outlet section

Рисунок 5 – План (a), продольный (b) и поперечный (c) разрезы головного регулятора
Figure 5 – Plan (a), longitudinal (b) and cross-sectional (c) sections of the main head regulator

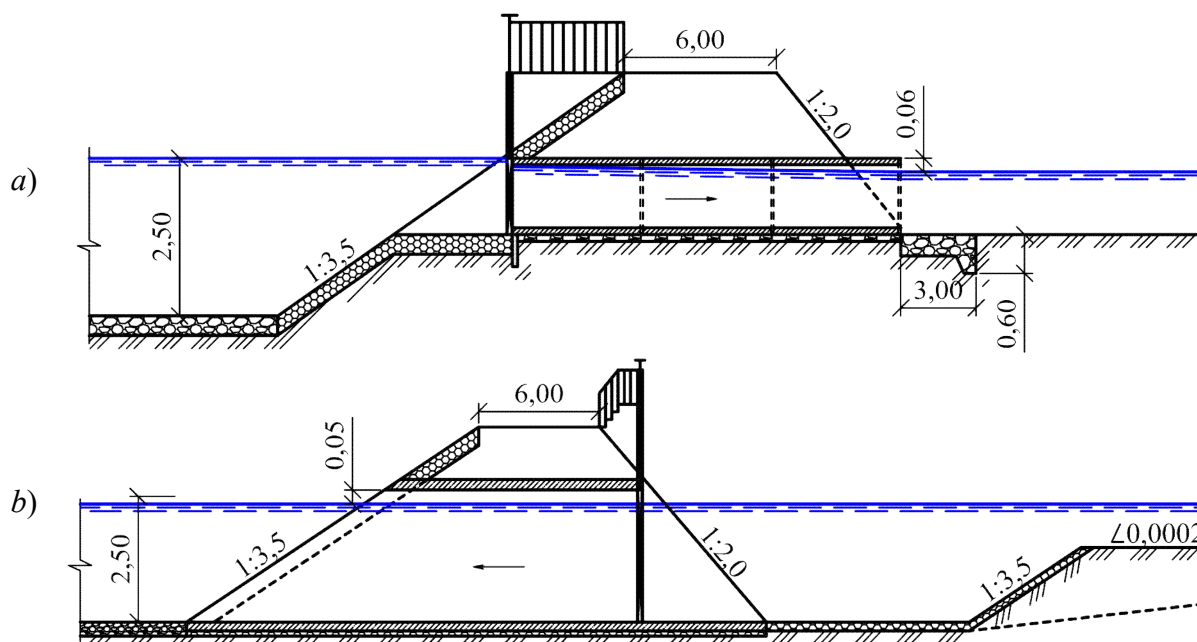


Рисунок 6 – Виды водорыбовпускного (а) и водорыбовыпускного (b) сооружений в составе внутримеандровых нерестилищ
Figure 6 – Types of water-fish inlet (a) and water-fish outlet (b) structures as part of intra-meander spawning grounds

Выводы

1 Для обеспечения воспроизводства популяций лито- и фитофильных видов рыб в верхних бьефах речных гидроузлов предложено устраивать пригидроузловые рыбоходно-нерестовые комплексы.

2 Разработано компоновочно-конструктивное решение рыбоходно-нерестового комплекса для условий его устройства и функционирования в составе низконапорного Багаевского гидроузла на р. Дон.

Список источников

1. Чистяков А. А. Конструкции рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов: учеб. пособие / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск, 2004. 150 с.
2. Шкура Вл. Н., Дроботов А. Н. Рыбоходные и рыбоходно-нерестовые каналы / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: НГМА, 2012. 203 с.
3. Опыт эксплуатации обводных нерестово-рыбоходных каналов при низконапорных гидроузлах на Нижнем Дону / С. П. Воловик, И. Ф. Ковтун, А. А. Корнеев, В. Н. Шкура, В. П. Боровской // Гидротехнические рыбохозяйственные сооружения и русловая гидротехника: сб. ст. / Гос. агропром. ком. СССР, Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Картунова. Новочеркасск, 1986. С. 10–20.
4. 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.

5. Белоусов В. Н. Последний рубеж естественного воспроизводства в Азово-Донском районе // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 14–19.
6. Анохин А. М., Щепкина В. А. Программа возрождения рыбных запасов Юга России «Серебряный поток Дона» // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Междунауч. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Аз. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва. 2018. С. 102–105.
7. Шурухин Л. А., Пантина Т. А. Проект строительства Багаевского гидроузла как элемента единой системы внутренних водных путей Европейской части России // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 5(72). С. 69–72.
8. Шурухин Л. А. Багаевский гидроузел: инженерные решения и итоги проектирования // Гидротехника. 2018. № 3. С. 41–46.
9. Гайдаев С. К. Рыбоводные сооружения низконапорного Багаевского гидроузла на реке Дон // Гидротехника. 2019. № 2(55). С. 22–25.
10. Павлов Д. С. Биологические основы управления поведением рыб в потоке воды. М.: Наука, 1979. 320 с.
11. 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>.
12. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production / H. R. Pereira, L. F. Gomes, H. O. Barbosa, F. M. Pelicice, J. C. Nabout, F. B. Teresa, L. C. G. Vieira // Hydrobiologia. 2020. Vol. 847. P. 579–592. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04122-y>.
13. Павлов Д. С., Скоробогатов М. А. Миграции рыб в зарегулированных реках. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2014. 413 с.
14. 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).
15. Шкура В. Н., Шевченко А. В. Опыт устройства и проектирования рыбоходно-нерестовых каналов на Нижне-Донском каскаде низконапорных гидроузлов // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2022. Т. 4, № 1. С. 50–69. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=135> (дата обращения: 30.01.2022). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-50-69>.

References

1. Chistyakov A.A., 2004. *Konstruktsii rybokhodnykh i rybokhodno-nerestovykh kanalov: ucheb. posobie* [Designs of Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels: textbook]. Novocherkassk State Reclamation Academy, Novocherkassk, 150 p. (In Russian).
2. Shkura V.I., Drobotov A.N., 2012. *Rybokhodnye i rybokhodno-nerestovye kanaly* [Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels]. Novocherkassk State Reclamation Academy, Novocherkassk, NGMA, 203 p. (In Russian).
3. Volovik S.P., Kovtun I.F., Korneev A.A., Shkura V.N., Borovskoy V.P., 1986. *Opyt ekspluatatsii obvodnykh nerestovo-rybokhodnykh kanalov pri nizkonapornykh gidrouzlakh na Nizhnem Donu* [Experience in operating bypass spawning and fish passage channels at low-head hydroelectric facilities on the Lower Don]. *Gidrotekhnicheskie rybokhozyaystvennyye sooruzheniya i ruslovaya gidrotekhnika: sb. st. Gos. agroprom. kom. SSSR* [Hydrotechnical Fishery Facilities and Channel Hydraulic Engineering: Proc. of State Agroindustrial Complex

USSR]. Novocherkassk State Reclamation Engineering Academy, Novocherkassk, pp. 10-20. (In Russian).

4. Dubinina V.G., 2019. *Trebovaniya rybnogo khozyaystva pri upravlenii rezhimami vodokhranilishch* [Requirements of the fish industry in 1986 - the management of reservoir regimes]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], vol. 3, no. 1, pp. 67-97, DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027. (In Russian).

5. 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).

6. Anokhin A.M., Shchepkina V.A., 2018. *Programma vozrozhdeniya rybnykh zapasov Yuga Rossii "Serebryanyy potok Dona"* [Program of revival of fish stocks in the South of Russia "Silver Stream of the Don"]. *Aktual'nye voprosy rybolovstva, rybovodstva (akvakul'tury) i ekologicheskogo monitoringa vodnykh ekosistem: materialy Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu Azovskogo nauch.-issled. instituta rybnogo khozyaystva* [Current Issues of Fisheries, Fish Breeding (Aquaculture), and Ecological Monitoring of Aquatic Ecosystems: Proc. of the International Scientific-Practical Conference, Dedicated to the 90th Anniversary of Azov Scientific Research Institute of Fishery], pp. 102-105. (In Russian).

7. Shurukhin L.A., Pantina T.A., 2017. *Proekt stroitel'stva Bagaevskogo gidrouzla kak elementa edinoi sistemy vnutrennikh vodnykh putey evropeyskoy chasti Rossii* [The construction project of the Bagaevsky waterworks as an element of a unified system of inland waterways of the European part of Russia]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], no. 5(72), pp. 69-72. (In Russian).

8. Shurukhin L.A., 2018. *Bagaevskiy gidrouzel: inzhenernye resheniya i itogi proektirovaniya* [The Bagaevsky hydroelectric complex: engineering solutions and design results]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering], no. 3, pp. 41-46. (In Russian).

9. Gaidarov S.K., 2019. *Rybovodnye sooruzheniya nizkonapornogo Bagaevskogo gidrouzla na reke Don* [Fishways of the Bagaevsky low-head hydroelectric engineering complex on the Don river]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering], no. 2(55), pp. 22-25. (In Russian).

10. Pavlov D.S., 1979. *Biologicheskie osnovy upravleniya povedeniem ryb v potoke vody* [Biological Bases of Fish Behavior Control in Water Flow]. Moscow, Nauka Publ., 320 p. (In Russian).

11. 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>.

12. Pereira H.R., Gomes L.F., Barbosa H.O., Pelicice F.M., Nabout J.C., Teresa F.B., Vieira L.C.G., 2020. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production. *Hydrobiologia*, vol. 847, pp. 579-592, <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04122-y>.

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

14. Borovskoy V.P., Garbuz A.Yu., Baev O.A., 2018. [Method of hydraulic calculation of a spawning canal with different-fraction gravel-pebble bed cover]. *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).

15. Shkura V.N., Shevchenko A.V., 2022. [Experience in the arrangement and design of fish pass and spawning canals at the Nizhne-Donskoy cascade of low-head waterwork facilities]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 4, no. 1, pp. 50-69, available: <http://www.rosniipm-sm.ru>

sm1.ru/article?n=135 [accessed 30.01.2022], <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-50-69>. (In Russian).

Информация об авторах

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

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

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

Information about the authors

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

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

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

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 16.08.2022; одобрена после рецензирования 21.09.2022; принята к публикации 26.09.2022.

The article was submitted 16.08.2022; approved after reviewing 21.09.2022; accepted for publication 26.09.2022.