УДК 532.5:504.06 DOI: 10.33075/2220-5861-2022-2-51-60

СОВРЕМЕННЫЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ АКТИВИЗАЦИИ МАССООБМЕНА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

А.Е. Щодро[1], С.А. Шоларь[1,2]

[1]Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: alexeugn@yandex.ru
[2]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: sa.sholar@mail.ru

В статье рассмотрены схемы некоторых типов экологических сооружений, управляющих структурой водного потока, способствующих насыщению его кислородом, увеличивающих скорости поперечного переноса массы воды и активизирующих массообмен в целом. Указанные сооружения способствуют промыву застойных зон в реках, морских заливах и водохранилищах, уменьшают начальные концентрации вредных веществ, выбрасываемых в естественные водоёмы. Приводятся также соображения по возможности изменений параметров указанных сооружений для увеличения их эффективности.

Ключевые слова: экологические сооружения, наносы, заиливание, устья рек, гидротехника, проектирование, перенос наносов.

Поступила в редакцию: 15.04.2022. После доработки: 30.05.2022.

Введение. Основные экологические проблемы в районах впадения малых рек в море, в самых малых и средних реках, а также при устройстве канализационных выпусков в промышленных и городских регионах, при выпуске перегретых вод из тепловых и атомных электростанций в пруды и водохранилища – охладители, решаются с помощью устройства ряда специальных сооружений, которые рассмотрим по группам:

- буны и полузапруды (пассивные и активные сооружения);
- донные пороги, устраиваемые при выпуске сточных вод в моря и водохранилища;
- донные пороги-завихрители, рассеивающие входящие массы воды по значительному объёму акватории;
- водовыпускные сооружения в широкие акватории и каналы.

Целью настоящей работы следует считать обобщение принципов проектирования экологических сооружений и информационное их внедрение.

Свойством, объединяющим эти сооружения, является образование винтообразных течений с вертикальными, наклонными или горизонтальными осями, которые выполняют основные экологические функции этих сооружений. Экологическое состояние средних и малых рек во всех природных зонах вызывает сегодня большую тревогу, многие из них исчезли с карты нашей страны. Загрязнения речных экосистем приводят к их деградации, поэтому проблема сохранения и оздоровления малых и средних рек является одной из самых острых.

1. Буны и полузапруды. Эти сооружения, именуемые в морской практике бунами, в речной же чаще – полузапрудами, служат для накопления наносного материала возле пляжей, для направления движения наносов, их аккумуляции в пространствах между соседними сооружениями, предотвращения берега от размыва и других задач. Экологический аспект при этом присутствует автоматически, поскольку любые сооружения такого типа возмущают поток, насыщая его кислородом, замедляя скорости движения транзитного потока, создают условия для отдыха гидробионтов, создают места для нерестилищ и оказывают другие благоприятные действия. Полузапруды бывают глухими, не допус-

кающими перелива потока через их гребень, затапливаемыми, которые рассматриваются обычно в двух вариантах – пассивных и активных. Пассивные практически не вызывают вторичных течений в потоке, кроме местных явлений, которые связаны с их обтеканием. Активные же создают циркуляционные течения во всей массе потока, поскольку располагаются под углом к направлению основного потока, по течению или против. Отдельно выделяются также сквозные полузапруды, которые также могут выступать в роли активных или пассивных сооружений; активные при этом вызывают циркуляционные течения благоприятной структуры. Косо расположенные сквозные активные полузапруды (относительно набегающего потока) вызывают ряд полезных гидравлических эффектов – возникновение циркуляции в потоке и местного интенсивного винтообразного течения.

Рассмотрим применение низких затапливаемых полузапруд как сооружений, дешевых и технологичных [1–6], которые интенсифицируют вторичные течения и массообмен во всем потоке и активно способствуют переносу наносов к берегу и повышению самоочищающейся способности рек. Актуальной также является проблема местного размыва берегов рек. Именно паводки, которые в горных регионах все учащаются, приносят огромные ущербы. Размывы являются причиной разрушения большинства объектов берегоукрепления и других сооружений [7–10]. При направлении полузапруд под углом против потока (рис. 1–3) наносы двигаются к берегу и, откладываясь у него, защищают его от размыва. При противоположном направлении, по потоку, – активнее проявляются водосмесительные свойства сооружения (рис. 2, 4).

Полузапруды, буны, донные пороги, струенаправляющие щиты, шпоры и другие аналогичные сооружения широко используются в гидротехнической практике. Сооружения такого типа используются как для защиты берегов от размыва, так и для повышения лесосплавных возможностей рек, для нужд судоходства и регулирования движения наносов, а также и в некоторых других случаях.

Экологические аспекты применения такого типа сооружений также решают следующие важные задачи:

- начального разбавления сточных вод при их выпуске в водоток;
- аэрации потока;
- регулирования движения донных и взвешенных наносов;
- локального и систематического сжатия потока;
- защиты русла от размывов и его стабилизация;
- увеличение проточности реки и др.

Благодаря массообмену в водотоке происходит его дестратификация, аэрация, усиливается разбавление растворенных и взвешенных веществ, выравниваются температурные поля, ускоряется разложение загрязняющих веществ за счет окислительно-восстановительных реакций, переносятся питательные вещества и кислород к живым организмам и отводятся от них продукты жизнедеятельности.

В соответствии с целью исследований, сформулированной выше, основными задачами экспериментальной части стало исследование закономерностей формирования структуры потока за косорасположенной полузапрудой и оценка характера массообменных процессов.

Экспериментальные исследования проводились в зеркальном лотке на неразмываемой модели. Масштаб модели составлял примерно 1:30. Уровни воды измерялись с помощью шпиценмасштаба. Скорости измерялись микровертушкой Х-6. Проводилась фото и видео съемка. Траектории донных и поверхностных струй исследовались с помощью поверхностных и донных полистирольных поплавков и фиксировались зарисовками в журнале исследований. Отдельные массообменные характеристики (ширина факела рассеивания – потока, который выходит из вальцевой зоны в транзитный поток, и расстояние оси этого потока от берега) исследовались путем введения в поток красителя (водного раствора метиленового синего).

Методика экспериментальных исследований основана на теории гидравлического моделирования по Фруду. Числа Фруда были значительно меньше 1, скорости потока всегда были такими, которые обеспечивали автомодельный режим по числу Рейнольдса по вязкости. В лотке прямоугольного поперечного сечения были установлены полузапруды длиной, обеспечивающей ограниченное сжатие потока (не более 0,3), и при этом, влияние противоположной стенки лотка на явления у полузапруды не проявлялось.

Экспериментальная часть состояла из трех блоков исследований.

В первом блоке были проведены методические исследования. Выявлен характер общего хода гидродинамических процессов. В ходе методических исследований предварительно оценена эффективность применения берегового отверстия, используемого только в случае водосмесительных полузапруд, устанавливаемых по потоку и стенки препятствия. На основе анализа результатов предыдущих исследований определены основные параметры и характеристики, требующие детального изучения (рис. 1).

Рис. 1. Исследования системы бун, предназначенных для улучшения экологического состояния акватории
Fig. 1. Studies of a system of buns designed to improve the ecological state of the water area

Задачей второго блока исследований было установление рациональных параметров берегового отверстия и расстояния до боковой преграды за сооружением, а также была установлена оптимальная высота и угол планового расположения полузапруды. За определяющую характеристику была принята осредненная скорость вдоль гребня модели сооружения. На основе полученных результатов были построены графики зависимостей, позволяющие установить оптимальные параметры приведенных элементов для конкретных условий.

Третий блок исследований включал: исследование вспомогательных устройств; оптимизацию выбранной системы нескольких полузапруд с принятыми дополнительными конструктивными элементами. Результаты предыдущих экспериментальных исследований позволили нам выбрать параметр оптимизации и установить его основные параметры.

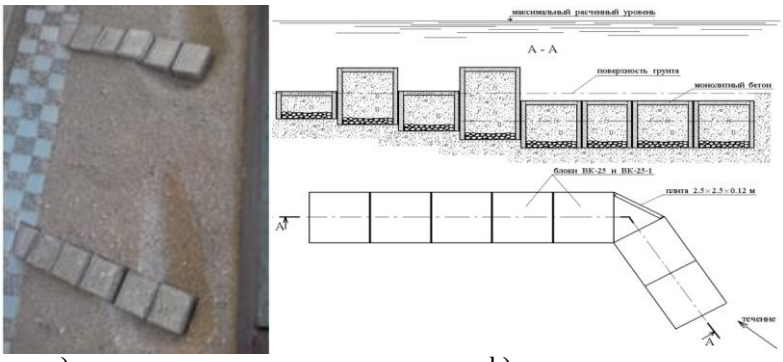
Рекомендации по внедрению. На основе результатов исследования мы даем рекомендации по использованию водосмесительных полузапруд для решения задач экологического характера. Возможность управления эффективностью сооружения и скоростями за ним при заданной его высоте связана с возможностью изменения ширины зазора между берегом и краем сооружения и углом его расположения относительно транзитного потока (эти параметры выбираются при проектировании). Оперативное регулирование скоростей и изменение эффективности может достигаться путем специальных устройств, изменяющих пропускную способность отверстия на входе в сооружение. И это есть вопрос рационализации конструкции.

Наши рекомендации позволяют определить принципиальные параметры низких затапливаемых полузапруд и дополнительных устройств, которые улучшают массообмен. В случае, когда параметры сооружения выходят за пределы диапазона экспериментальных исследований, проведенных нами, предлагается простая схема для выполнения гидравличного расчета. Расчеты дают значения скоростей и расходов поперечных течений за полузапрудой, определяется также величина зоны циркуляции за сооружением, которая позволяет определить расстояние между полузапрудами для различных случаев.

Водосмесительные полузапруды также можно успешно использовать для разных целей, а именно: общей интенсификации массообмена в речном потоке, ликвидации застойных зон, борьбы с цветением и зарастанием водотоков, постепенного разбавления сточных вод, рассеивания загрязненных стоков за мостовыми переходами. Такие сооружения могут устанавливаться на отдельных участках в пределах населенных пунктов, окультуренных зон, или применяться на большой длине конкретного речного русла (нескольких десятков километров). Также предлагается использовать затапливаемые полузапруды для усиления циркуляции водных масс и окисления загрязнений в аэротенках.

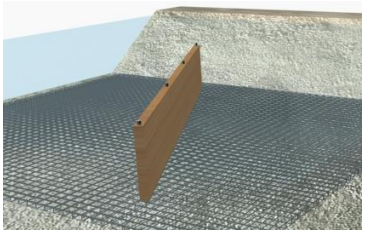
В рекомендациях использованы результаты лабораторных исследований, основные выводы из работ И.И. Кириенко, А.Е. Щодро, Л.А. Шинккаруком [3, 9] и расчеты К.И. Росинского [7].

С учетом современных тенденций в гидротехническом строительстве для решения поставленных задач нами предлагаются оригинальные типы конструкций с использованием простых и дешевых материалов (рис. 2, 3).

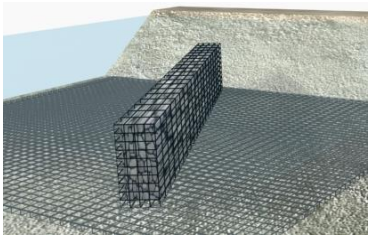


a) b)

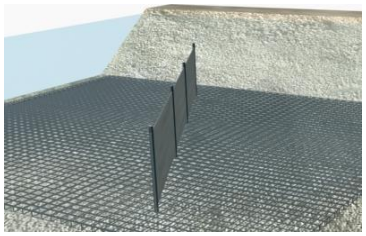
Рис. 2. Низкие затапливаемые (a) и сквозные (b) полузапруды, выполненные из отдельных железобетонных блоков, загружаемых местным грунтом (камнем) [2], предназначенные для защиты берега от размыва и экологических целей
Направление движения на рис. (a) от смотрящего, на рис. (b) – указано стрелкой
Fig. 2. Low flooded (a) and permeable (b) semi-dams, made of individual reinforced concrete blocks loaded with local soil (stone) [2], designed to protect the shore from erosion and environmental purposes. The direction of movement in fig. (a) from the viewer, in fig. (b) – indicated by an arrow



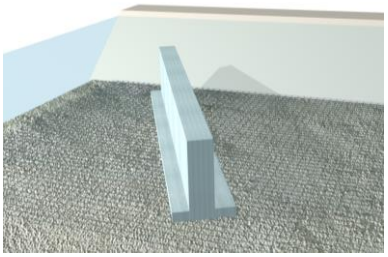
a) Полузапруды из деревянных щитов



b) Полузапруды из габионов



c) Полузапруды из геотекстиля



d) Полузапруды из бетонных блоков

Рис. 3. Схемы облегченных конструкций водосмесительных полузапруд
Fig. 3. Schemes of lightweight structures of water-mixing semi-dams (groins)

Данные конструкции достаточно просты, не требуют значительных капиталовложений при строительстве, являются эффективными и удобными в эксплуатации. Для устройства водосмесительных полузапруд можно использовать следующие облегченные конструкции:

- водосмесительная полузапруда из бетонных блоков;
- полузапруды из габионов;
- полузапруды из железнодорожных шпал;
- полузапруды из полиэтиленовых мешков с песчаными наполнителями;
- полузапруды из армированного брезента;
- полузапруды из полиэтиленовых труб;
- полузапруды из деревянных щитов.

Использование данных устройств (рис. 3) предварительно апробировано в лабораторных условиях и может быть эффективно использовано как для решения задач экологического характера, так и задач смежных направлений.

На рис. 4 и 5 показаны сооружения, построенные в натурных условиях с хорошими результатами их эксплуатации.

2. Донные пороги, устраиваемые при выпуске сточных вод в моря и водохранилища. На рис. 6 показано плановое расположение донных порогов (a), расположенных за выходом потока в водохранилище; (b) – пространственное изображение схемы истекания потока и его взаимодействия с донными порогами.

Донные струи при этом отклоняются вдоль порогов, а поверхностные – в противоположную сторону, образуя компенсационное течение; то есть, в целом в потоке возникает стационарное циркуляционное течение, усиливающее массообмен.

На рис. 7 изображена установка низкого криволинейного порога под острым, небольшим углом к направлению движения транзитного потока в русле реки на его излучение у вогнутого берега. Указанный порог практически полностью устраняет циркуляционное течение на излучение реки и уменьшает интенсивность размыва вогнутого берега, а также служит экологическим целям. На рис. 7 показаны различные схемы возможного расположения донных порогов и струенаправляющих устройств как для решения экологических задач, так и для задач регулирования русла.

a)

b)

Рис. 4. Система полузапруд (a) и одиночная полузапруда (b) в натурных условиях; видно занесение наносами межполузапрудных пространств и хорошее закрепление берега возле одиночной полузапруды. Направление движения потока: (a) к наблюдателю, (b) – справа налево

Fig. 4. Semi-dam system (a) and single dam (b) in natural conditions; we can see the sedimentation of the intersemi-dam spaces and the good fixation of the shore near a single semi-dam. Flow direction: (a) towards the observer, (b) from right to left

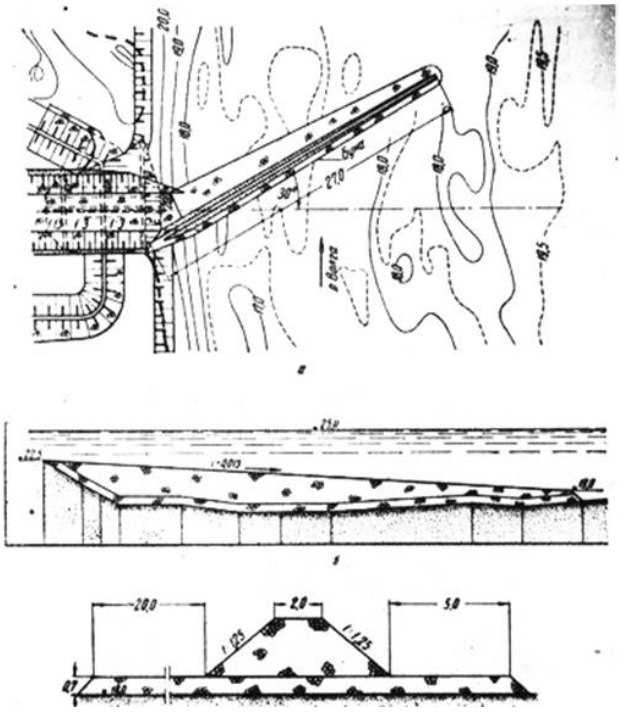


Рис. 5. Полузапруда, построенная на р. Волге для смешения сточных вод с речным потоком; эксплуатируется более 30 лет; результаты эксплуатации удовлетворительные
Fig. 5. A semi-dam built on the Volga River to mix sewage with river flow; operated for over 30 years; operating results are satisfactory

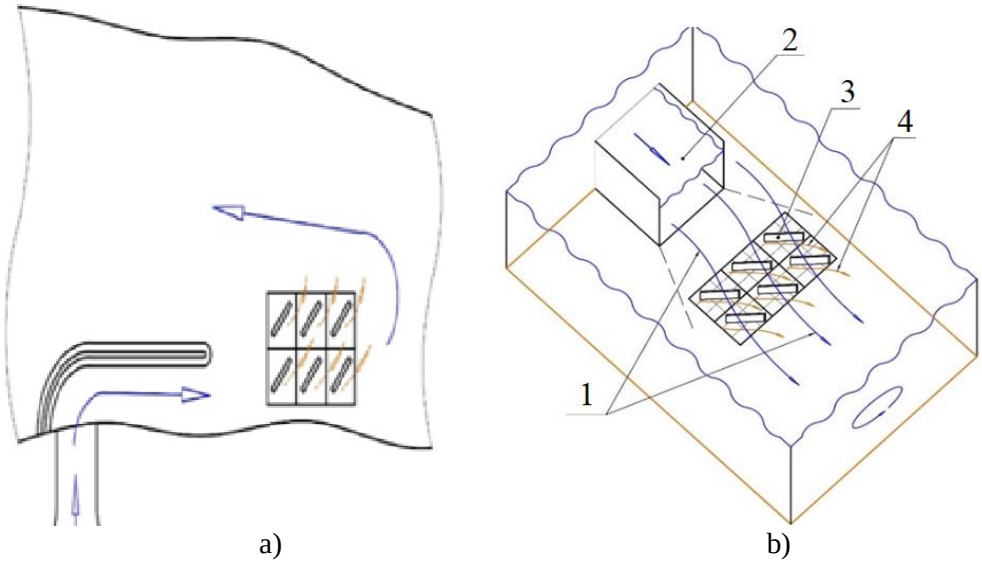


Рис. 6. Плановое расположение донных порогов. Где (а) – пороги расположенные за выходом потока в водохранилище; (б) – пространственное изображение схемы движения потока и его взаимодействие с донными порогами, где 1 – траектория поверхностных потоков, 2 – выход сбросного потока в водохранилище, 3 – донные пороги направления потока, 4 – траектория придонных потоков
Fig. 6. Planned arrangement of bottom rapids. Where (a) – rapids are located behind the outlet of the flow into the reservoir; (b) – spatial image of the flow pattern and its interaction with bottom rapids, where: 1 – the trajectory of surface flows, 2 – the exit of the waste flow into the reservoir, 3 – the bottom thresholds, 4 – the trajectory of near-bottom flows

Рис. 7. Низкий криволинейный порог, установленный под острым углом против течения. Течение потока от наблюдателя. Гидравлическая модель масштаба 1/30
Fig. 7. Low curvilinear threshold set at a sharp angle against the current. The scale of the hydraulic model is 1/30

3. Донные пороги-завихрители, рассеивающие входящие массы воды по значительному объёму акватории. Данный порог-завихритель, показанный на рис. 8, работает следующим образом. Струя со значительными скоростями, выходящая в водобойный колодец, находящийся ниже уровня дна и ограниченный криволинейными стенками, натекает на острый угол возле которого она раздваивается и образуется при этом два винта – правосторонний и левосторонний, которые вращаясь и поднимаясь по пандусу захватывают массы воды, окружающие конструкцию, и транспортируют поток, входящий в акваторию, в его верхние слои. Такая конструкция хорошо работает при глубинах потока не менее планового поперечного размера самого водобойного колодца. Размывы близи водогрейного колодца практически равны нулю, а характеристики смешения отличные.

Конструкции данного типа разработаны и проверены экспериментально в двух вариантах: двухстороннего симметричного водобойного колодца (смотри рис. 9) и одностороннего несимметричного («половина» конструкции, изображенной на рис. 9).

4. Водовыпускные сооружения в широкие акватории и каналы. Сооружение этого типа также разработаны и проверены опытно в условиях гидравлического эксперимента, в лотках с достаточно обоснованными параметрами.

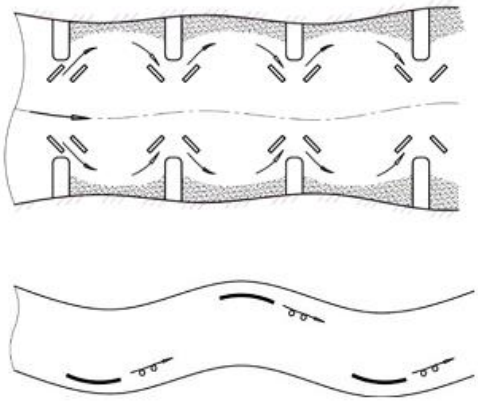


Рис. 8. Возможные схемы расположения криволинейных и прямолинейных донных порогов для борьбы с размывами и предотвращения заиления межполузапрудных пространств
Fig. 8. Possible layouts of curvilinear and rectilinear bottom rapids to combat erosion and prevent silting intersemi-dammed spaces

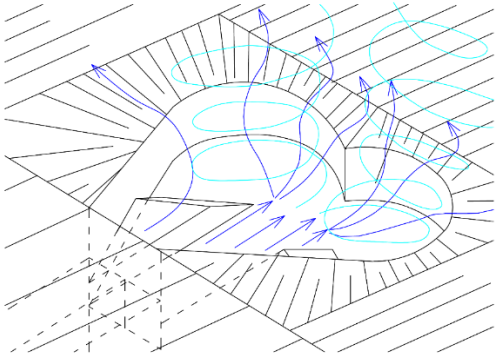


Рис. 9. Донный завихритель двухстороннего (симметричного) типа [11]
Fig. 9. Bottom swirler of double-sided (symmetrical) type [11]

Схема сооружения показана на рис. 10. Сооружение работает следующим образом. Вытекающая из бокового резервуара или какого-либо источника высокоскоростная струя распространяется в потоке или в стоячей воде более широкой акватории. Такое вытекание

при этом может привести к нежелательным экологическим последствиям и к размыву дна и берегов вокруг сооружения. На выходе из сооружения струя движется над донным уступом, который рассчитан таким образом, чтобы струя взаимодействовала с отрывным течением, возникающим за уступом, и при этом расширялась в максимальной степени.

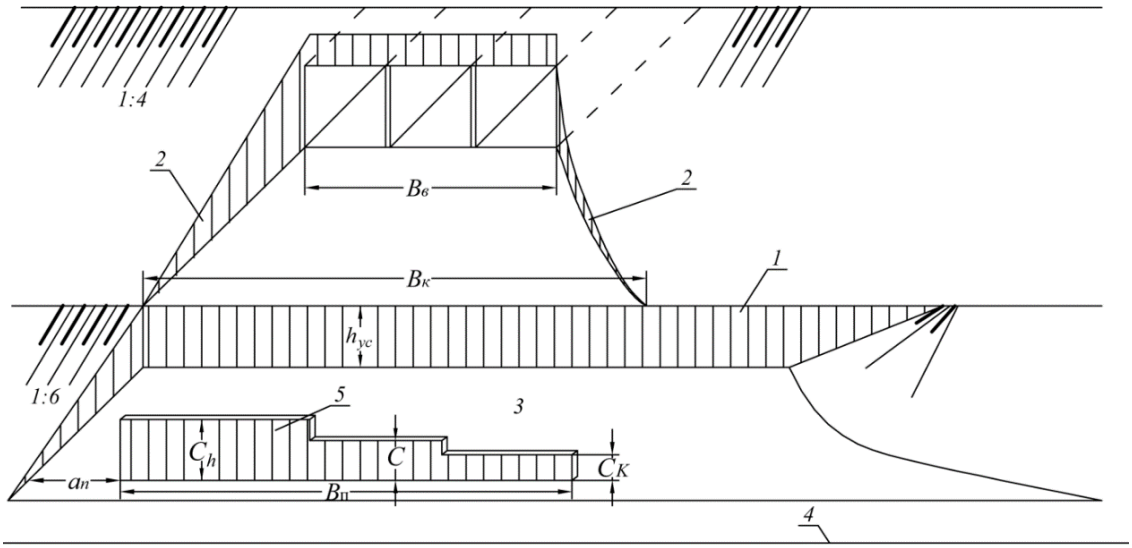


Рис. 10. Схема водовыпуска в канал, реку, водохранилище или в море [12]. Использованы конструктивные элементы: донный уступ (1), криволинейная (ныряющая) направляющая стенка (2), жесткое (облегченное) крепление (3), гибкое крепление (4), донный струенаправляющий порог (5)
Fig. 10. Scheme of water outlet into a canal, river, reservoir or sea [12]. Structural elements used: bottom ledge (1), curved (diving) guide wall (2), rigid (lightweight) fastening (3), flexible fastening (4), bottom jet sill (5)

Той же цели служит также и донный порог, расположенный несколько ниже по течению струи от донного уступа; за ним также возникает винтообразное течение, которое «растягивает» струю и заставляет её вытекать равномерно по ширине уступа, не образуя водоворота воды за выпуском, и обеспечивая максимально плавное сопряжение потоков текущего со струей и транзитного, идущего в канале или в реке. Потоки при этом максимально плавно сопрягаются, обеспечивая равномерное распределение примесей и плавное уменьшение их значений по ходу струи.

Заключение. Все рассмотренные сооружения реально исполняемы на водохозяйственных объектах любого региона. При этом полузапруды (буны) наиболее применимы для горно- предгорной зоны, а все остальные типы сооружений имеют универсальную применимость. Хорошие показатели их технической эффективности отражены в приводимых литературных источниках, на которые сделаны ссылки в статье. Теоретические и расчётные вопросы изложены в работах [4, 9, 10, 12]; практические аспекты проектирования рассмотренных сооружений соответственно – в работах [1–7, 9–14].

Авторы выражают благодарность д.г.н., профессору Воскресенской Е.Н. за ценные замечания и советы при работе над данной статьей.

Работа выполнена по госбюджетной теме ИПТС №0012-2021-0007 и №0012-2021-0010

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щодро А.Е., Мокляк Н.Н.* Способ интенсификации водообмена в акватории и управления движением наносов и устройство для его осуществления: патент 2711810, Рос. Федерация. Заявл. 01.10.2018; опубл. 22.01.2020, Бюл. № 3. 17 с.

2. *Кириенко И.И., Щодро А.Е., Шуминский В.Д.* Берегозащитное сооружение: а.с. 971986, СССР. Заявл. 10.07.1981; опубл. 11.07.1982, Бюл. № 41. 3 с.

3. *Кириенко И.И., Щодро А.Е., Шуминский В.Д., Шиннарук Л.А.* Проектирование низких затапливаемых полузапруд // В кн.: Гидромелиорация и гидротехническое строительство. Львов: Высшая школа, 1981. С. 59–64.

4. *Щодро О.Є., Мокляк М.М., Ходневич Я.В.* Покращення екологічного стану малих річок за допомогою затоплюваних напівзагат // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2007. № 1 (37). С. 133–142.

5. *Мокляк М.М.* Застосування затоплюваних водозмішувальних напівзагат для інтенсифікації масообміну в потоці з метою покращення екологічного стану малих річок // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2006. № 4 (36). С. 143–148.

6. *Эдельштейн К.К., Сахарова М.И.* Восстановление и охрана малых рек: Теория и практика. М.: Агропромиздат, 1989. 314 с.

7. *Россинский К.И., Кузьмин И.А.* Решение уравнений диффузии применительно к задачам движения взвешенных наносов // Русловые процессы. 1958. С. 100–123.

8. *Журавлев М.М.* Местный размыв у опор мостов. М.: Транспорт, 1984. 243 с.

9. *Shchodro A.E.* River bed deformations near banks and hydraulic structures due to river flow River Basin Management IV: 4th International Conference on River Basin Management Including all Aspects of Hydrology, Ecology, Environmental Management, Flood Plains and Wetlands. Boston: WIT-Press, Southampton, 2007. P. 381–387.

10. *Shchodro A.E., Moklyak M.M.* Low flooded (submerged) groins as constructions activating mass transfer in rever flows // Scientific Bulletins «Civil Engineering Impact upon the Environment», 11-2014. P. 18–29.

11. *Gur'ev A.P., Shchodro A.E., Chumicheva M.M., Shlikhta V.M.* Kinematic characteristics of the flow of an intake structure with a curvilinear threshold // Hydrotechnical Construction. 1991. Vol. 22 (11). P. 652–655.

12. *Щодро А.Е., Шлихта В.М.* Экспериментальное и численное исследование структуры и размывающей способности потока у водовыпусков в каналы // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. 1999. Т. 2. № 36. С. 404–410.

13. *Щодро А.Е., Мокляк Н.Н.* Низкие затопленные полузапруды как сооружения для защиты берегов от размыва и улучшения экологического состояния водотока // Гидроинженерия. 2013. № 1 (15). С. 20–35.

14. *Кинематические* характеристики потока впускного сооружения с криволинейным порогом / А.П. Гурьев, А.Е. Щодро, М.М. Чумичева, В.М. Шлихта // Гидротехническое строительство. 1991. № 4. С. 17–19.

MODERN HYDROECOLOGICAL FACILITIES FOR ACTIVATION OF MASS TRANSFER IN AQUATIC ENVIRONMENT

A.E. Shchodro[1], S.A. Sholar[1,2]

[1]Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28
[2]Sevastopol State University, RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

The article presents schemes of some types of environmental structure types that control the features of water flow, contribute to its saturation with oxygen, increase the rate of transverse water mass transfer

and activate mass transfer in general. These facilities contribute to the washing of stagnant zones in rivers, sea bays and reservoirs, reduce the initial concentrations of harmful substances released into natural water reservoirs. Consideration is also given on the possibility of changing the parameters of these structures to increase their efficiency.
Keywords: environmental structures, sedimentation, siltation, river mouths, hydraulic engineering, design, sediment transport.

REFERENCES

1. *Shchodro A.E. and Moklyak N.N.* Sposob intensifikacii vodoobmena v akvatorii i upravleniya dvizheniem nanosov i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya: pat. 2711810, Ros. Federaciya. Zayavl. 01.10.2018; opubl. 22.01.2020. Byul. No. 3, 17 p.

2. *Kirienko I.I., Shchodro A.E., and Spuminskij V.D.* Beregozashchitnoe sooruzhenie: a.s. 971986, USSR. Zayavl. 10.07.1981; opubl. 11.07.1982. Byul. No. 41, 3 p.

3. *Kirienko I.I., Shchodro A.E., Shuminskij V.D., and Shinnaruk L.A.* Proektirovanie nizkih zataplivaemyh poluzaprud (Design of low flooded semi-dams). *Gidromelioraciya i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 1981, No. 1, pp. 133–142.

4. *Shchodro A.E., Moklyak N.N., and Hodnevich Ya.V.* Pokrashchennya ekologichnogo stanu malih richok za dopomogoyu zatoplyuvanih napivzagat (Improving the ecological state of small rivers with the help of flooded semi-dams). *Visnik Nacional'nogo universitetu vodnogo gospodarstva ta prirodokoristuvannya*, 2007, No. 1 (37), pp. 133–142.

5. *Moklyak N.N.* Zastosuvannya zatoplyuvanih vodozmishuval'nih napivzagat dlya intensifikaciï masoobminu v potoci z metoyu pokrashchennya ekologichnogo stanu malih richok (The use of flooded water-mixing semi-dams for the intensification of mass transfer in the stream in order to improve the ecological state of small rivers). *Visnik Nacional'nogo universitetu vodnogo gospodarstva ta prirodokoristuvannya*, 2006, No. 4 (36), pp. 143–148.

6. *Edel'shtejn K.K. and Saharova M.I.* Vosstanovlenie i ohrana malyh rek: Teoriya i praktika (Restoration and protection of small rivers: Theory and practice), Moscow: Agropromizdat, 1989, 314 p.

7. *Rossinskij K.I. and Kuz'min I.A.* Reshenie uravnenij diffuzii primenitel'no k zadacham dvizheniya vzveshennyh nanosov (Solution of diffusion equations in relation to the problems of movement of suspended sediments). *Ruslovye processy*, 1958, No. 1, pp. 100–123.

8. *Zhuravlev M.M.* Mestnyj razmyv u opor mostov (Local erosion at bridge piers), Moscow: Transport, 1984, 243 p.

9. *Shchodro A.E.* River bed deformations near banks and hydraulic structures due to river flow River Basin Management. 4th International Conference on River Basin Management Including all Aspects of Hydrology, Ecology, Environmental Management, Flood Plains and Wetlands.- Boston: WIT-Press, Southampton, 2007, pp. 381–387.

10. *Shchodro A.E. and Moklyak N.N.* Low flooded (submerged) groins as constructions activating mass transfer in rever flows. *Scientific Bulletins «Civil Engineering Impact upon the Environment»*, 2014, No. 11, pp. 18–29.

11. *Gur'ev A.P., Shchodro A.E., Chumicheva M.M., and Shlikhta V.M.* Kinematic characteristics of the flow of an intake structure with a curvilinear threshold. *Hydrotechnical Construction*, 1991, № 22 (11), pp. 652–655.

12. *Shchodro A.E. and Shlikhta V.M.* Eksperimental'noe i chislennoe issledovanie struktury i razmyvayushchej sposobnosti potoka u vodovypuskov v kanaly (Experimental and numerical study of the structure and erosion capacity of the flow at water outlets into canals). *Bulletin of NTUU «KPI»,* 1999, Vol. 2, No. 36, pp. 404–410.

13. *Shchodro A.E. and Moklyak N.N.* Nizkie zatoplennye poluzaprudy kak sooruzheniya dlya zashchity beregov ot razmyva i uluchsheniya ekologicheskogo sostoyaniya vodotoka (Low flooded semi-dams as structures to protect the banks from erosion and improve the ecological state of the watercourse). *Gidroinzheneriya*, 2013, No. 1 (15), pp. 20–35.

14. *Gur'ev A.P., Shchodro A.E., Chumicheva M.M., and Shlikhta V.M.* Kinematicheskie harakteristiki potoka vpusknogo sooruzheniya s krivolinejnym porogom (Kinematic characteristics of the flow of an intake structure with a curvilinear threshold). *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 1991, № 4, pp. 17–19.