

Оригинальная статья

УДК 627.8:556.182

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-86-91



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА НАНОСОВ И РУСЛОВЫХ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЙ В РАЙОНЕ СОРМОВСКОГО ВОДОЗАБОРА В УСЛОВИЯХ ПОЛОВОДИЙ, МЕЖЕНИ И ПРИ РАБОТЕ ЗЕМСНАРЯДОВ

**Глотко Анна Владимировна**<sup>1,2✉</sup>, канд. техн. наук

ORCID0000-0003-1382-3033, РИНЦ ID1028281, Scopus 57204366466, WOS Research ID Q-3505-2017; annaglotko@mail.ru

**Васильева Екатерина Сергеевна**<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID0000-0002-3566-1461, РИНЦ ID1113593, Scopus 57211287970, WOS Research ID HII-6763-2022; vasilevaes@yandex.ru

**Беликов Виталий Васильевич**<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID0000-0002-1760-4498, РИНЦ ID14526, Scopus 8055086600, WOS Research ID: P-3480-2014; belvv@bk.ru

**Борисова Наталья Михайловна**<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук

ORCID0000-0002-6955-957X, РИНЦ ID169955, Scopus 57204856178, WOS Research ID P-2859-2014; borisovanm@mail.ru

<sup>1</sup> Институт водных проблем Российской академии наук; г. Москва, ул. Губкина, 3, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» НИУ МГСУ; г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия

**Аннотация.** Строительство и эксплуатация гидроузлов оказывают влияние на окружающую среду и рядом расположенные действующие объекты хозяйствования. Рассматривается Сормовский водозабор, а также возможное воздействие на него проектируемого Нижегородского низконапорного гидроузла. В качестве инструмента для исследований был использован программный комплекс STREAM 2D CUDA, основанный на оригинальном численном алгоритме решения двумерных уравнений мелкой воды (уравнения Сен-Венана) на неровном дне. Для расчета деформаций речного дна и заиления водозаборных сооружений применяется новая физико-математическая модель транспорта наносов с учетом неоднородного (многофракционного) состава грунта, движения как влекомых, так и взвешенных наносов, переформирования подводных и надводных склонов. Для проведения расчетов были построены три модели. На первой модели производились расчеты половодий редкой повторяемости 10%-, 1%- и 0,1%-ной обеспеченности. На второй модели исследовались меженные условия – навигационный период при суточном регулировании вышерасположенного гидроузла. На третьей модели рассматривался строительный период, когда производятся гидромеханизированные работы. По полученным расчетам были построены планы размывов: аккумуляций, планы отложений наносов, определены массы наносов, поступающих в Сормовский водозабор. Результаты моделирования показали, что деформации дна в районе водозабора являются незначительными. Большая часть наносов поступает в ковш водозабора в период половодья. При этом строительство Нижегородского низконапорного гидроузла незначительно изменяет существующую тенденцию. Основной вывод проделанной работы заключается в том, что специальные дополнительные мероприятия по защите Сормовского водозабора от наносов в период навигации не требуются.

**Ключевые слова:** транспорт наносов, Сормовский водозабор, Нижегородский низконапорный гидроузел, уравнения Сен-Венана, деформации речного дна, половодье, межень, строительный период

**Формат цитирования:** Глотко А.В., Васильева Е.С., Беликов В.В., Борисова Н.М. Моделирование транспорта наносов и русловых переформирований в районе Сормовского водозабора в условиях половодий, межени и при работе земснарядов // Природообустройство. 2023. № 2. С. 86-91. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-86-91.

© Глотко А.В., Васильева Е.С., Беликов В.В., Борисова Н.М., 2023

Original article

## MODELING OF SEDIMENT TRANSPORT AND RIVERBED REFORMATIONS IN THE AREA OF THE SORMOVO WATER INTAKE IN THE CONDITIONS OF HIGH WATER, LOW WATER AND DURING DREDGER OPERATION

**Glotko Anna Vladimirovna**<sup>1,2✉</sup>, candidate of technical sciences

ORCID0000-0003-1382-3033, PIИЦ ID1028281, Scopus 57204366466, WOS Research ID Q-3505-2017; annaglotko@mail.ru

**Vasiljeva Ekaterina Sergeevna**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences

ORCID0000-0002-3566-1461, PIИЦ ID1113593, Scopus 57211287970, WOS Research ID HII-6763-2022; vasilevae@yandex.ru

**Belikov Vitaly Vasiljevich**<sup>1</sup>, doctor of technical sciences

ORCID0000-0002-1760-4498, PIИЦ ID14526, Scopus 8055086600, WOS Research ID: P-3480-2014; belvv@bk.ru

**Borisova Natalja Mikhailovna**<sup>1</sup>, candidate of physical-mathematical sciences

ORCID0000-0002-6955-957X, PIИЦ ID169955, Scopus 57204856178, WOS Research ID P-2859-2014borisovanm@mail.ru

<sup>1</sup> Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina St., 3, Russia

<sup>2</sup> FGBOU HE "National Research Moscow State University of Civil Engineering" NRU MGSU, Moscow, Yaroslavl highway, 26, Russia

**Annotation.** *The construction and operation of hydraulic structures has an impact on the environment and nearby objects. The article discusses the Sormovo intake structure and the possible impact on it of the projected Nizhny Novgorod low-pressure hydroelectric complex. The STREAM 2D CUDA software package, based on the original numerical algorithm for solving two-dimensional shallow water equations (Saint-Venant equations) on an uneven bottom, was used as a research tool. To calculate the deformations of the river bottom and siltation of water intake structures, a new physical and mathematical model of sediment transport is used, taking into account the heterogeneous (multi-fractional) composition of the soil, the movement of both traction and suspended sediments, and the reformation of underwater and above-water slopes. Three models were built for the calculations. At the first one, calculations were made for floods of rare frequency of 10%, 1%, and 0.1% probability. On the second low water conditions – the navigation period with daily regulation of the above located hydroelectric complex. The third model considered the construction period, when hydro mechanized works are carried out. Based on the calculations obtained, plans for erosion – accumulation, plans for sediment deposition were built, and the masses of sediments entering the Sormovskiy intake were determined. The simulation results showed that the bottom deformations in the intake structure area are insignificant. Most of the sediment enters the intake structure bucket during the flood period. At the same time, the construction of the Nizhny Novgorod low-pressure hydroelectric complex does not change the existing trend much. The main conclusion of the work done is that special additional measures to protect the Sormovo intake structure from sediments during the navigation period will not be required.*

**Keywords:** *Sormovo intake, Nizhny Novgorod low-pressure hydroelectric complex, Saint-Venant equations, river bottom deformations, high water, low water, construction period*

**Format of citation:** *Glotko A.V., Vasiljeva E.S., Belikov V.V., Borisova N.M. Modeling of sediment transport and riverbed reformations in the area of the Sormovo water intake in the conditions of high water, low water and during dredger operation // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 86-91. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-86-91.*

**Введение.** В настоящее время участок р. Волга от Городецких шлюзов Нижегородского гидроузла до г. Нижнего Новгорода является одним из узких мест, лимитирующих габариты судового хода единой глубоководной системы Европейской части России. Это связано с тем, что водохранилище Чебоксарского гидроузла не было заполнено до отметки 68 м. Одним из вариантов решения проблемы является строительство низконапорного гидроузла. Его строительство и эксплуатация могут оказать влияние на окружающую среду и рядом расположенные объекты.

К последним можно отнести Сормовский водозабор. В статье описываются результаты моделирования работы Сормовского водозабора в условиях половодий, навигации и в строительный период.

Сормовский водозабор на р. Волга расположен на 894.1 км судового хода по Атласу ЕГСЕС РФ (2004. Т. 5). Оголовки расположены в старице (старом русле реки), отделенной от основного потока (судового хода) песчаной косой, – в ковшовом водозаборе.

**Материалы и методы исследований.** *Описание методики расчета.* Для расчета

гидродинамических параметров течения воды и заиления водозабора использовался отечественный программный комплекс STREAM 2D CUDA [1], основанный на оригинальном численном алгоритме решения двумерных уравнений мелкой воды на неровном дне. В последней версии программного комплекса STREAM 2D CUDA реализован новый алгоритм [2-4], обеспечивающий единственности высокую точность решения на участках со сложным рельефом дна и гидротехническими сооружениями [5], распараллеленный на графическом процессоре NVIDIA с использованием технологии CUDA для ускорения расчетов. Алгоритм, валидация численной модели и многочисленные примеры приложения к различным задачам речной гидравлики и гидродинамики представлены в монографии [5].

Для расчета деформаций речного дна и заиления водозаборных сооружений применяется новая физико-математическая модель транспорта наносов с учетом неоднородного (многофракционного) состава грунта, движения как влекомых, так и взвешенных наносов, переформирования подводных и надводных склонов [6, 7]. Аналоги этой модели в настоящее время отсутствуют. Апробация описанной методики моделирования проведена на ряде объектов [8-10].

При построении модели применялись гибридные треугольно-четырёхугольные сетки нерегулярной структуры. Такие сетки хорошо адаптируются под плановые очертания расчетной области и особенности течения.

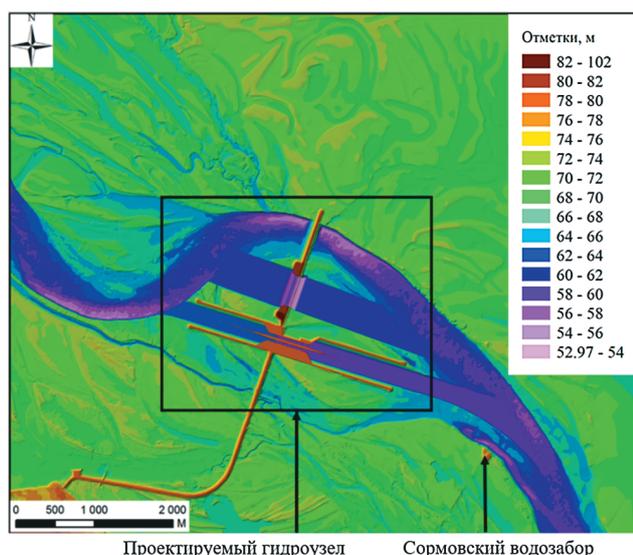


Рис. 1. Цифровая модель рельефа в районе проектируемого низконапорного гидроузла

Fig. 1. Digital model of the relief in the area of the projected low-pressure hydraulic complex

*Построение математической модели исследуемого объекта.* Для расчетов были построены 3 модели (рис. 2).

1. Модель 1 включает в себя верхний и нижний бьефы. Моделируются условия эксплуатации, вариант – прохождение половодья обеспеченности 10%, 1%, 0.1% (количество ячеек – 72962).

2. Модель 2 (нижний бьеф по створу проектируемого гидроузла (на рисунке 2 выделена синим полигоном) была получена из модели 1. Предназначена для моделирования периода навигации. Количество расчетных ячеек – 42621.

3. Модель 3 для строительного периода была модифицирована из модели 1 с адаптацией сетки под сооружения строительного периода. Количество расчетных ячеек – 55105.

**Результаты и их обсуждение.** *Результаты моделирования в половодье обеспеченностью 10%, 1% и 0.1%.* Максимальные скорости вблизи водозабора составляют 0.5-0.75 м/с для всех рассмотренных вариантов расчета.

Отложения наносов при половодье 10%-, 1%-, 0.1%-ной обеспеченности составят 0.15-0.25, 0.25-0.5, 0.1-0.5 м соответственно. Общая масса наносов, поступающих в водозабор, показана на графиках (рис. 3). Наибольшее количество наносов поступит в водозабор при половодье 1%-ной обеспеченности: 61 т при расчете на начальном дне (красная линия) и около 65 т при расчете половодья 1%-ной обеспеченности после прохождения одной навигации (красная штриховая линия). Наименьшее количество при половодье 0.1% – 26.5 т (синяя линия). При половодье 10%-ной обеспеченности общая масса поступивших в водозабор наносов составит 40.5 т (зеленая линия).

*Результаты моделирования работы Сормовского водозабора в навигационный период.* Для межженных условий расчеты деформаций выполнялись

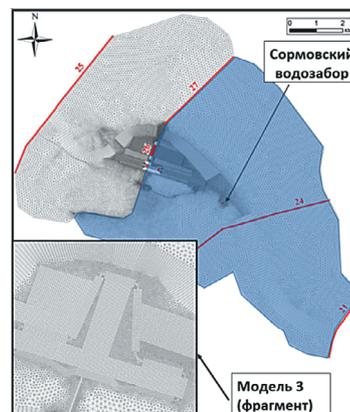


Рис. 2. Расчетные сетки модели 1, модели 2 (синий полигон), модели 3 (фрагмент)

Fig. 2. Calculation grids of model 1, model 2 (blue polygon), model 3 (fragment)

по эквивалентному гидрографу, который задавался на основе реального гидрографа суточного регулирования на Нижегородской ГЭС за 1 мес. работы. Из реального гидрографа были выбраны 3 пиковых расхода:  $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $2000 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $3000 \text{ м}^3/\text{с}$ . Несколько суток с одинаковым расходом объединялись в один временной интервал, и в результате получилось, что за 1 мес. межени в течение 20 сут. сбрасывается расход  $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ , в течение 9 сут. –  $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ , в течение 1 сут. –  $3000 \text{ м}^3/\text{с}$ . Нетрудно понять, что среднесуточный расход за 1 мес. при таком гидрографе составляет  $1360 \text{ м}^3/\text{с}$ . Это незначительно превосходит среднемноголетний навигационный расход в  $1300 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Моделировались 3 режима работы водосбросной плотины проектируемого гидроузла:

Вариант № 1. Работают центральные пролеты № 6-11.

Вариант № 2. Работают пролеты слева № 11-16.

Вариант № 3. Работают пролеты № 1, 4, 7, 10, 13, 16.

Результаты расчетов показали, что максимальные скорости при трех вариантах работы плотины вблизи водозабора составляют  $0.2\text{-}0.4 \text{ м}/\text{с}$ .

Отложения наносов вблизи водозабора при всех рассмотренных вариантах после первой и второй навигаций не превышают  $0.1 \text{ м}$ , что лежит в пределах точности расчетов. Масса наносов, поступающих в водозабор, показана на графиках (рис. 4).

После первой навигации общая масса наносов, поступивших в водозабор, составит  $1.5 \text{ т}$  для трех вариантов работы водосбросной плотины. По итогам второй навигации при втором варианте расположения регулируемых пролетов водосбросной плотины общая масса наносов несколько выше, чем в первом и втором:  $3.2 \text{ т}$  для второго варианта работы,  $3 \text{ т}$  – при вариантах 1 и 3.

*Результаты моделирования транспорта наносов и русловых переформирований в нижнем*

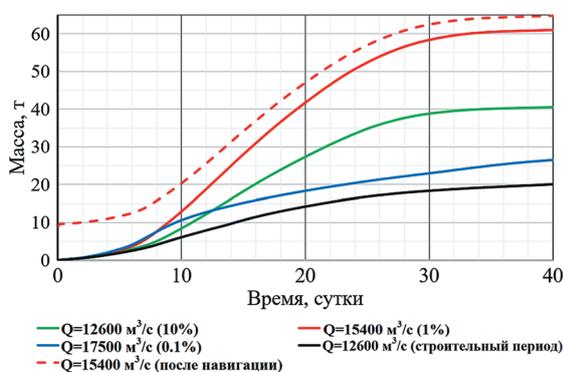


Рис. 3. Масса наносов, поступающих в Сормовский водозабор, при расчете половодий

Fig. 3. Mass of sediments entering the Sormovo water intake when calculating floods

*бьефе вблизи нижерасположенного Сормовского водозабора при работе земснарядов.* Для обеспечения условий судоходства в верхнем и нижнем бьефах при строительстве и эксплуатации проектируемого Нижегородского низконапорного гидроузла планируются дноуглубительные работы для обеспечения необходимых габаритов судовых ходов и предплюзовых рейдов. Необходимо определить воздействие на Сормовский водозабор в период гидромеханизированных работ на о. Ревякский и при дноуглубительных работах на судовом ходу в нижнем бьефе гидроузла (рис. 5).

Рассматривался период проведения дноуглубительных работ продолжительностью 154 сут. По реке задавался гидрограф, эквивалентный реальному гидрографу суточного регулирования на Нижегородской ГЭС. В верхнем бьефе в течение этого времени задавалась равномерная подача грунта в воду в размере 15% от общего объема работ, то есть  $0.15 \times 570 \text{ тыс. м}^3 = 85.5 \text{ тыс. м}^3$ . В нижнем бьефе учитывалась работа только одного земснаряда, расположенного выше Сормовского водозабора, то есть учитывалось попадание в воду  $0.15 \times 875.11 \text{ тыс. м}^3 = 131.27 \text{ тыс. м}^3$ . Дно

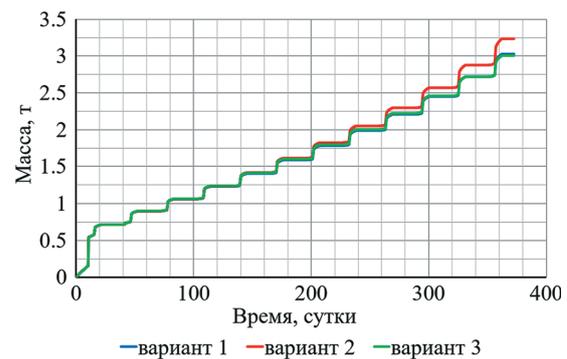


Рис. 4. Масса наносов, поступающих в Сормовский водозабор, при расчете 2 навигаций с разными вариантами работы водосбросной плотины

Fig. 4. Mass of sediments entering the Sormovo water intake when calculating 2 navigations with different options for the operation of the spillway dam

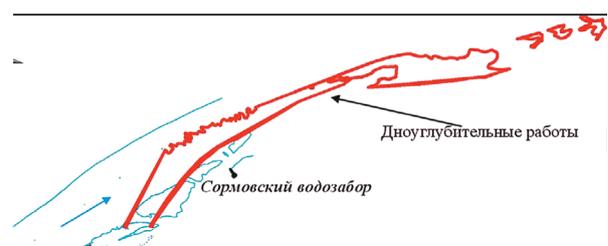


Рис. 5. Область работ по углублению русла ниже створа проектируемого гидроузла

Fig. 5. Area of work for deepening the channel below the alignment of the designed hydraulic complex

реки в период этих расчетов принималось неразмываемым, чтобы выделить именно влияние работы земснарядов без учета общих и местных деформаций русла. В расчете рассматривался грунт двух фракций: фракция 1 с  $d_{50} = 0.25$  мм;  $d_{90} = 0.5$  мм; фракция 2 с  $d_{50} = 0.1$  мм;  $d_{90} = 0.5$  мм.

В результате расчета в Сормовский водозабор попало 1.86 т грунта, в основном мелкой фракции 2 крупностью 0.1 мм. Разделив эту величину на продолжительность работы земснарядов, получим среднесуточное попадание наносов в Сормовский водозабор по причине дноуглубительных работ в строительный период в размере 12 кг/сут.

Как следует из графика (рис. 6), поступление наносов в водозабор является довольно неравномерным и связано с величиной попусков Нижегородской ГЭС (максимальное при максимальных попусках).

На рисунке 7 представлено поле отложений взмучиваемого земснарядами грунта на конец дноуглубительных работ в строительный

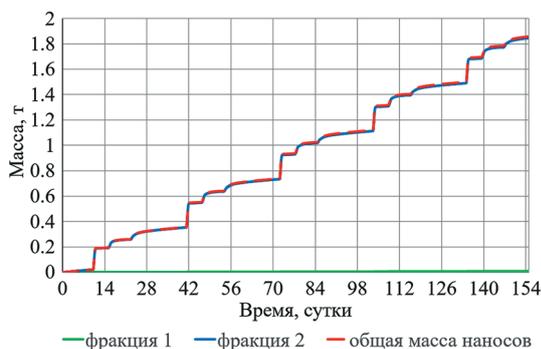


Рис. 6. Масса наносов, поступившая в Сормовский водозабор, в период гидромеханизированных работ

Fig. 6. Mass of sediments entering the Sormovo water intake in the period of hydro mechanized works

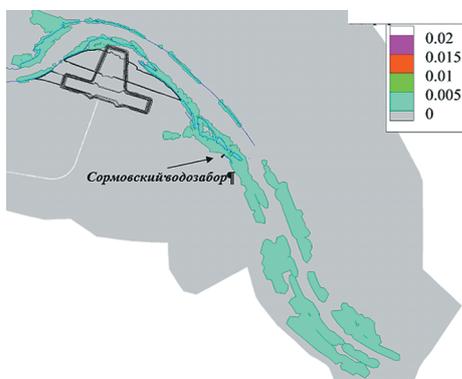


Рис. 7. Поле отложений поступивших при работе земснарядов наносов на дне р. Волга на конец навигации

Fig. 7. Field of sediments entered during the operation of sediment dredgers at the bottom of the Volga River at the end of navigation

период. Фактически зона этих отложений соответствует осредненному за период навигации шлейфу мутности.

## Выводы

Результаты моделирования показали, что деформации дна в районе водозабора являются незначительными. Примерно такие же деформации могут происходить и в естественных (бытовых) условиях, особенно в период высоких половодий.

Поступление наносов непосредственно с забираемой водой в высокие половодья является весьма значительным и может достигать 45-90 т за период паводка. Но существенная часть этих наносов может оседать в водозаборном ковше и в дальнейшем удаляться механическим способом. По-видимому, и без строительства гидроузла в паводок в водозабор будет попадать значительная часть от приведенной выше массы наносов.

Дноуглубительные работы на этапе эксплуатации будут в меньшей степени оказывать влияние на работу водозабора, чем в период строительства. Однако в начале периода эксплуатации гидроузла (особенно в первые 2 года) за счет интенсивных переформирований дна русла в нижнем бьефе в навигационный период на водозабор будет поступать в среднем 8 кг/сут. грунта. Поэтому суммарно с учетом обоих рассматриваемых факторов в навигационный период на Сормовский водозабор будет поступать в среднем не более 20 кг/сут. наносов преимущественно мелкой крупности, или не более 3.5 т за навигацию. Эта величина является незначительной (около 0.1 г/м<sup>3</sup> забираемой воды), и какие-либо специальные дополнительные мероприятия по защите Сормовского водозабора от наносов в период навигации не потребуются.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема FMWZ-2022-0003 «Разработка численных моделей гидрологических, гидродинамических и гидрохимических процессов в водных объектах и их водосборных бассейнах, создание на основе разработанных моделей технологий поддержки решений в сфере водной безопасности для информационной модернизации водохозяйственной отрасли России»)*

*The work was carried out within the framework of the State Task of the IWP RAS (the theme FMWZ-2022-0003 is «Development of numerical models of hydrological, hydrodynamic and hydro chemical processes in water bodies and their watersheds, creation on the basis of the developed models of technologies to support solutions in the field of water security for information modernization of the water sector of Russia»)*

## Список использованных источников

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660266. Программный комплекс STREAM 2D CUDA для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках с использованием технологий Computer Unified Device Architecture (на графических процессорах NVIDIA). Москва, 2017.
2. **Алексюк А.И., Беликов В.В.** Моделирование течений мелкой воды с областями обмеления и разрывами дна // Вычислительная математика и математическая физика. 2017. Т. 57, № 2. С. 316-338.
3. **Aleksyuk A.I., Belikov V.V.** The uniqueness of the exact solution of the Riemann problem for the shallow water equations with discontinuous bottom // Journal of Computational Physics. 2019. Vol. 390. Pp. 232-248. Aug. <https://doi:10.1016/j.jcp.2019.04.001>.
4. **Aleksyuk A.I., Malakhov M.A., Belikov V.V.** The exact Riemann solver for the shallow water equations with a discontinuous bottom // Journal of Computational Physics. 2022. Vol. 450. Pp. 110801. Doi: 10.1016/j.jcp.2021.110801.
5. **Беликов В.В., Алексюк А.И.** Модели мелкой воды в задачах речной гидродинамики: монография. М.: РАН, 2020. 346 с.
6. **Беликов В.В., Борисова Н.М., Гладков Г.Л.** Математическая модель транспорта наносов для расчета заносимости дноуглубительных прорезей и русловых карьеров // Журнал университета водных коммуникаций. 2010. Т. 2. С. 105-113
7. **Belikov V.V.** Use of Accumulation Basins to Reduce Silting of Reservoirs of Hydroelectric Power Plants Located on Mountain Rivers / V.V. Belikov, A.I. Aleksyuk, N.M. Borisova, T.A. Fedorova // Power Technology and Engineering. 2019. 53 (4). Pp. 429-439. Doi: 10.1007/s10749-019-01095-9.
8. **Беликов В.В.** Гидравлическое обоснование проекта Багаевского гидроузла с применением численного гидродинамического моделирования / Борисова Н.М., Алексюк А.И., Румянцев А.Б. и др. // Гидротехническое строительство. 2018. № 5. С. 19-35.
9. **Krylenko I.N.** Analysis of the impact of hydrotechnical construction on the Amur river near Blagoveshchensk and Heihe cities using a two-dimensional hydrodynamic model / Belikov V.V., Fingert E.A., Golovlev P.P. // Water resources. 2018. Vol. 45, № S1. S. 112-121.
10. **Беликов В.В.** Применение ям-ловушек для уменьшения заиливания водохранилищ ГЭС на горных реках / Алексюк А.И., Борисова Н.М., Федорова Т.А. // Гидротехническое строительство. 2019. № 6. С. 12-24.

## Критерии авторства

Глотко А.В., Васильева Е.С., Беликов В.В., Борисова Н.М. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 03.03.2023

Одобрена после цензирования 21.03.2023

Принята к публикации 01.04.2023

## References

1. Certificate of state registration of the computer program No. 2017660266. STREAM 2D CUDA software package for calculating currents, bottom deformations and transferring contaminants in open streams using Computer Unified Device Architecture technologies (on NVIDIA GPUs) // Moscow, 2017
2. **Aleksyuk A.I., Belikov V.V.** Modeling of shallow water currents with areas of shallowing and bottom ruptures. // Computational mathematics and mathematical physics. T. 57. № 2. S. 316-338.
3. **Aleksyuk A.I., Belikov V.V.** The uniqueness of the exact solution of the Riemann problem for the shallow water equations with discontinuous bottom // Journal of Computational Physics, vol. 390, pp. 232-248, Aug. 2019. <https://doi:10.1016/j.jcp.2019.04.001>
4. **Aleksyuk A.I., Malakhov M.A., Belikov V.V.** The exact Riemann solver for the shallow water equations with a discontinuous bottom // Journal of Computational Physics. 2022, vol. 450, p. 110801, 2022, doi: 10.1016/j.jcp.2021.110801
5. **Belikov V.V., Aleksyuk A.I.** Models of shallow water in the problems of river hydrodynamics: monograph. M.: RAS, 2020. 346 p.
6. **Belikov V.V., Borisova N.M., Gladkov G.L.** Mathematical model of sediment transport for calculating the drift of dredging slots and channel quarries. Journal of the University of water communications, 2010, Vol. 2 P. 105-113
7. **Belikov V.V.** Use of Accumulation Basins to Reduce Silting of Reservoirs of Hydroelectric Power Plants Located on Mountain Rivers / Aleksyuk A.I., Borisova N.M., Fedorova T.A. // Power Technology and Engineering. 53(4), 429-439 (2019) doi: 10.1007/s10749-019-01095-9
8. **Belikov V.V.** Hydraulic substantiation of the project of the Bagayevsky hydroelectric complex using numerical hydrodynamic modeling. / Borisova N.M., Aleksyuk A.I. Romyantsev A.B. and others. // Hydro technical construction, 2018, No 5, P. 19-35.
9. **Krylenko I.N.** Analysis of the impact of hydrotechnical construction on the Amur river near Blagoveshchensk and Heihe cities using a two-dimensional hydrodynamic model / Belikov V.V., Fingert E.A., Golovlev P.P. // Water resources. 2018, vol. 45, № S1, S112-S121.
10. **Belikov V.V.** The use of pit traps to reduce the silting of hydroelectric power plants reservoirs on mountain rivers / Aleksyuk A.I., Borisova N.M., Fedorova T.A. // Hydro technical construction. 2019. № 6. p. 12-24

## Criteria of authorship

Glotko A.V., Vasiljeva E.S., Belikov V.V., Borisova N.M. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

## Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

## Contributions of the authors

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

The article was submitted to the editorial office 03.03.2023

Approved after reviewing 21.03.2023

Accepted for publication 01.04.2023