

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ

MODERN PROBLEMS OF RESERVOIRS AND THEIR CATCHMENTS

Труды VIII Всероссийской
научно-практической конференции
с международным участием
(г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.)



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ

MODERN PROBLEMS OF RESERVOIRS AND THEIR CATCHMENTS

Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
(г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.)



Пермь 2021

УДК 556.552: 551.579

ББК 26.222

C568

- C568 **Современные проблемы водохранилищ и их водосборов** = Modern problems of reservoirs and their catchments [Электронный ресурс] : труды VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.) / науч. ред. А. Б. Китаев, В. Г. Калинин, О. В. Ларченко, М. А. Бакланов ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2021. – 8,20 Мб ; 542 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/modern-problems-of-reservoirs-and-their-catchments.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3639-6

Рассматриваются вопросы влияния глобальных изменений климата на гидрологический режим естественных и искусственных водных объектов; особенности водного баланса, уровня, скоростного и ледового режимов озер и водохранилищ. Представлены последствия протекания оползневых и абразионно-аккумулятивных процессов на берегах водохранилищ Волжско-Камского каскада; представлены предложения по оптимизации режима работы водохранилищ; рассмотрены вопросы водопользования в трансграничных регионах России и Казахстана, водообеспеченности вододефицитных районов Средней Азии.

Представлены вопросы загрязнения естественных и искусственных водных объектов России и стран ближнего зарубежья. Изучена трансформация биогенных и органических веществ в водохранилищах. Дана оценка химического состава донных отложений; рассмотрена миграция и трансформация лекарственных веществ в водных объектах; дана оценка фосфорной нагрузки на озера различных ландшафтов.

Рассмотрено влияние сбросов тепловых электростанций на окружающую среду; представлены гидроэкологические проблемы водоохранных зон водных объектов; рассмотрены вопросы качественного водоснабжения городов; дана оценка качества воды водохранилищ по индексам разнообразия и сапробности; рассмотрены особенности развития фито- и зоопланктона в различных частях водоемов.

Конференция посвящена памяти Заслуженного деятеля науки и техники РФ, академика РАН, доктора географических наук, профессора Матарзина Юрия Михайловича.

Материалы конференции предназначены для специалистов в области гидрологии, водного хозяйства, геоэкологии и гидробиологии.

УДК 556.552: 551.579

ББК 26.222

Печатается по решению оргкомитета конференции

Научные редакторы: А. Б. Китаев, В. Г. Калинин, О. В. Ларченко, М. А. Бакланов

ISBN 978-5-7944-3639-6

© ПГНИУ, 2021

UDC 556.552: 551.579
LBK 26.222

Modern problems of reservoirs and their catchments: proceedings of the VIII All-Russian scientific-practical conference with international participation (Perm, May, 27-30, 2021): Scientific editors A.B. Kitaev, V.G. Kalinin, O.V. Larchenko, M.A. Baklanov; Perm State University. – Perm, 2021. – 8,20 Mb ; 542 pp.

ISBN 978-5-7944-3639-6

The issues of the influence of global climate changes on the hydrological regime of natural and artificial water bodies; features of the water balance, level, speed and ice regime of lakes and reservoirs are considered. The consequences of landslide and abrasion-accumulative processes on the banks of reservoirs of the Volga-Kama cascade are presented; proposals for optimizing the operation of reservoirs are given; the issues of water use in the transboundary regions of Russia and Kazakhstan, water supply of water-deficient regions of Central Asia are considered.

The issues of pollution of natural and artificial water bodies in Russia and neighboring countries are considered. The transformation of biogenic and organic substances in reservoirs (Ivankovo, Mozhaishk, Bureya, Kanev, etc.) is presented. The chemical composition of bottom sediments is estimated; the migration and transformation of medicinal substances in water bodies is considered; the phosphorus load on lakes of various landscapes is estimated; the methane flow at the boundaries "bottom sediments-water" and "water-atmosphere" is estimated (on the example of the Mozhaishk reservoir).

The influence of thermal power plant discharges on the environment is considered; hydroecological problems of water protection zones of water bodies are presented; the issues of quality water supply in cities and settlements are considered; the water quality of reservoirs is assessed according to the indices of diversity and saprobity; the features of the development of phyto- and zooplankton in different parts of reservoirs are considered.

The conference is dedicated to the memory of Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Geographical Sciences, Professor Y. Matarzin.

The conference proceedings may be interesting for the specialists in hydrology and geoecology.

UDC 556.552: 551.579
LBK 26.222

Published on the decision of the Organization Committee

Scientific editors: A.B. Kitaev, V.G. Kalinin, O.V. Larchenko, M.A. Baklanov

ISBN 978-5-7944-3639-6

© Perm State University, 2021

Библиографический список

1. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги // Метеорология и гидрология, 2014. №3. С. 75-85.
2. Болгов М.В., Филиппова И.А., Харламов М.А. Современные изменения гидрологического режима и водообеспечение московского региона // Метеорология и гидрология. 2020. № 8. С. 29-36.
3. Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Мельник К.С., Лукьянов К.В. Современные гидрологические изменения в бассейне реки Москва // Метеорология и гидрология, 2020. №8. С.22-28.
3. Bolgov M, Korobkina E, Filippova I. Bayesian Decision for Low Flow Evaluation in Non-Stationary Conditions // The-Grand Challenges Facing Hydrology in the 21st Century. Dooge Nash International Symposium 2014, Dublin, Ireland. P. 65-74.

УДК 556

В.А. Куровская¹, С.С. Черноморец¹, Т.А. Виноградова^{2,4}, И.Н. Крыленко^{1,3},
А.Г. Гуломайдаров⁵, Ю.Х. Раимбеков⁵

viktoriiakurovskaja@gmail.com

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

³Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия

⁴ООО «НПО «Гидротехпроект»», г. Валдай, Россия

⁵Филиал Агентства Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан,
г. Душанбе, Таджикистан

СЦЕНАРНЫЕ РАСЧЕТЫ ПРОРЫВНЫХ ПАВОДКОВ И СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Рассмотрены результаты моделирования прорывного паводка и селевого потока для долины р. Дарайсис (бассейн р. Пяндж). Моделирование осуществлялось по 2 сценариям: прорыв озера Сист, образование селевого потока на крупном притоке р. Дарайсис. В работе использовалась гидродинамическая модель FLO-2D и модернизированная модель транспортно-сдвигового селеобразования, разработанная Ю.Б. Виноградовым. Оценка расхода прорывного паводка проводилась на основе батиметрической съемки. В качестве данных для долины была использована цифровая модель рельефа (ЦМР) ALOS PALSAR с разрешением 12.5 м, для конуса выноса – данные съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). В результате были получены карты распределения скоростей и глубины для р. Дарайсис и Пяндж. Также были выявлены наиболее уязвимые участки в пределах кишлака Сист.

Ключевые слова: прорывной паводок, селевой поток, двумерное гидродинамическое моделирование, FLO-2D, транспортно-сдвиговая модель.

V.A. Kurovskaya¹, S.S. Chernomorets¹, T.A. Vinogradova^{2,4}, I.N. Krylenko^{1,3},
A.G. Gulomaydarov⁵, Y.Kh. Raimbekov⁵
viktoriiakurovskaya@gmail.com

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

²*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

³*Research and Production Association Hidrotekhproekt LLC, Valday, Russia*

⁴*Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

⁵*Branch of the Aga Khan Agency for Habitat in the Republic of Tajikistan;
Dushanbe, Tajikistan*

SCENARIO CALCULATIONS OF OUTBURST FLOOD AND DEBRIS FLOWS

The results of the modeling of outburst floods and debris flows, which can possibly occur in the Daraisit River valley are presented in the paper. The modeling was carried out according to 2 scenarios: the outburst of Lake Sist, the formation of a debris flow on a large tributary of the river Daraisist. FLO-2D hydrodynamic model and the modernized transport-shear mudflow model developed by Yu.B. Vinogradov, were applied in this study. Evaluation of the outburst flood discharge was carried out on the basis of a bathymetric survey. A digital elevation model (DEM) ALOS PALSAR with a resolution of 12.5 m was used as relief data for the valley, and survey data from an unmanned aerial vehicle (UAV) was applied for the debris flow cone. As a result, maps of the spatial distribution of velocities and depths for the rivers Daraisist and Pyanj were obtained. The most vulnerable areas within the Sist village were also identified.

Keywords: glacial lake outburst flood (GLOF), debris flow, two-dimensional mathematical modelling, FLO-2D, transported-shift model.

Введение

Деградация горного оледенения в Центральной Азии приводит к интенсивному образованию ледниковых озер [9]. Многие из этих озер впоследствии оказываются спущенными в результате прорыва подпруживающих их дамб. При наличии значительных уклонов и достаточно количества рыхлообломочного материала прорывной паводок может трансформироваться в селевой поток. Прямой ущерб от селей включает человеческие жертвы, разрушение домов и инфраструктуры и многие другие потери, которые трудно оценить количественно [6]. По распространению селей Таджикистан занимает одно из первых мест в Центральной Азии [4]. Исследования селевых потоков в регионе началось с 60-х гг. XX в. [2]. Последний катастрофический прорывной паводок и последующий за ним селевой поток наблюдался в 2002 г. в результате прорыва озера объемом около 250000 м³ воды [7] в долине р. Дашт. Оценка характеристик селя с использованием моделей FLO-2D и RAMMS приводится в работе [7]. Целью данной работы было оценить потенциальную опасность прохождения прорывного паводка и селевого потока в долине р. Дарайсис.

Объект

Река Дарайсис расположена на территории Западного Памира и является правым притоком р. Пяндж, и впадает в нее в 743 км от устья. Бассейн реки

находится на западном макросклоне Ишкашимского хребта. Высота бассейна колеблется от 4875 м до 2400 м. Длина р. Дарайсис составляет примерно 9,8 км, площадь бассейна – 14,5 км². В верховьях находится каровое озеро Сист (площадь – 18 100 м², средняя глубина – 1,15 м, максимальная глубина – 3,2 м) [3]. Самый крупный приток р. Дарайсис находится на расстоянии 7 км от устья по правому борту. В верхней части этого бассейна находятся каменный глетчер, и моренный пьедестал, уступ которого рассечен селевым врезом, в нижней – сформировавшийся конус выноса. Возможен вариант образования селя в данной долине при поступлении интенсивных осадков. Значительные уклоны р. Дарайсис и наличие рыхлообломочного материала, приведут к сходу селя уже по основной долине. У устья реки расположен конус выноса общей площадью 0,2 км². На конусе выноса располагается кишлак Сист. Также по конусу вдоль р. Пяндж проходит отрезок автомобильной дороги Р–845, связывающий Хорог (административный центр ГБАО) и Ишкашим. В месте пересечения дорогой реки Дарайсис был сооружен мост.

Материалы и методы исследования

В работе для расчетов использовались двумерная гидродинамическая модель FLO-2D [8] и транспортно-сдвиговая модель селеобразования [1]. Модель FLO-2D применялась для зонирования долин. В основу модели положено решение уравнений Сен-Венана (вязкопластичная жидкость) [8]. В качестве основных данных о рельефе использовалась цифровая модель рельефа ALOS PALSAR с разрешением 12,5 м. На участке конуса выноса была получена детальная съемка с применением БПЛА, разрешение составило 0,13 м. В устьевой области р. Дарайсис присутствовало большое количество деревьев, учет высоты которых приводил к возникновению своеобразного «вала». Использование методов машинного обучения позволило в программе Agisoft Photoscan Professional автоматически классифицировать плотное облако точек на различные классы. В данном случае проводилась автоматическая классификация для класса высокая растительность. При построении ЦММ использовались все классы, кроме высокой растительности. Исходные гидрологические данные включали в себя гидрографы прорыва и селевого потока, а также фоновые значения расходов р. Пяндж. Моделирование проводилось для двух сценариев: прорыв озера Сист и формирование селевого потока на притоке р. Дарайсис. Предварительная оценка максимальных расходов воды при прорыве озера Сист проводилась на основе эмпирических формул [5]. Объем водной составляющей прорывного паводка задавался исходя из возможного объема озера (20 тыс. м³) по данным батиметрической съемки 2020 года [3].

Для расчета селевого гидрографа на притоке р. Дарайсис использовалась транспортно-сдвиговая модель селеобразования. Данная модель является одномерной и предназначена для расчета селевых потоков высокой плотности. Модель была разработана Ю.Б. Виноградовым на основе данных Чемолганских экспериментов по воссозданию селевых потоков [10]. В основе лежат уравнения для расчета расхода твердого материала, расхода селевого потока и плотности [10]. При этом принимается, что приращение расхода твердого вещества при

движении по тальвегу селевого очага прямо пропорционально коэффициенту неустойчивости ПСМ, элементарной потенциальной мощности потока и показателю подвижности селевой массы [1]. Для оценки расхода передового вала проводилось умножение величин расхода в замыкающем створе очага на коэффициент, в первом приближении близкий к 2,5 [1]. Скорость потока определялась по формуле максимальной скорости селя, предложенной Ю.Б. Виноградовым [1]. Время прохождения волны рассчитывалось, как расстояние между границами участков, деленное на скорость. В настоящее время уравнения модели реализованы в компьютерной программе на языке программирования Python. Исходная информация включала в себя данные о рельефе и параметрах селеформирующих грунтов, а также расход воды в реке.

Статический и динамический углы внутреннего трения селеформирующих грунтов оценивались на основе СП 425.1325800.2018 «Инженерная защита территории от эрозионных процессов. Правила проектирования» и работ Ю.Б. Виноградова [1] и составили соответственно 45° и 25° . Средний уклон русла в селевом очаге составил $27,6^\circ$. Моделирование проводилось для случая лавинообразного развития селя, при этом отношение объема воды к объему твердого вещества составило 0,2 [1]. Таким образом, для сценария I максимальный расход прорывного паводка равнялся $28,2 \text{ м}^3/\text{с}$. Для II сценария расход передового вала селя составил $547 \text{ м}^3/\text{с}$.

Анализ результатов

Максимальный расход прорывного паводка по I сценарию составит $22,4 \text{ м}^3/\text{с}$, время прохождения от озера до вершины конуса выноса – 2,1 ч. Участок конуса выноса поток пройдет за 0,1 ч. В I сценарии водный паводок на р.Пяндж будет превышать фоновый расход воды на $17 \text{ м}^3/\text{с}$. По сценарию II максимальный расход селевого потока составит $369 \text{ м}^3/\text{с}$, время добегания будет равняться 1,3 ч, участок конуса будет пройден потоком за 0,3 ч. Водный паводок в р. Пяндж будет превышать фоновый расход воды на $156 \text{ м}^3/\text{с}$.

Максимальные глубины в сужениях долины р. Дарайсис по результатам моделирования для обоих сценариев могут составлять более 3-4 м. Скорости течения на многих участках русла более 5 м/с. Максимальная скорость течения для I сценария равнялась 13,3 м/с, для II – 17,7 м/с. При прорыве озера согласно I сценарию глубина потока на конусе выноса будет составлять от 1 до 2 м, в р. Пяндж глубина будет достигать 1–4 м. В зоне затопления по данному сценарию оказываются несколько домов в месте выхода реки на конус выноса, дома, непосредственно примыкающие к дороге и мост, по которому проходит автодорога Р–45. По II сценарию будет наблюдаться растекание потока, в зону затопления попадают практически все дома на конусе выноса, а также упомянутый ранее мост. В данном случае глубина в самом русле р. Дарайсис будет варьироваться от 7 до 15 м. В р. Пяндж глубина потока будет составлять 1–8 м. Скорости селевого потока непосредственно в русле р. Дарайсис будут более 5 м/с, на конусе выноса – до 1,3 м/с, в русле р. Пяндж – до 7 м/с. Необходимо отметить, что при движении потока по р. Пяндж будет происходить

его распластывание. Так, противоположный берег р. Пяндж не будет попадать в зону затопления при данном сценарии.

Выводы

В работе приведена оценка селевой опасности для долины р. Дарайсис. Моделирование осуществлялось по двум сценариям: I – прорыв оз.Сист, исходя из объема на 2020 г., и II – образование селевого потока на притоке р.Дарайсис. При этом использовались данные батиметрической съемки озера и детальная съемка устья с помощью БПЛА, проведенные в августе 2020 г. Зонирование долины реки проводилось с помощью гидродинамической модели FLO-2D. Гидрограф прорыва озера был получен по эмпирическим формулам, исходя из объема озера на август 2020. Оценка гидрографа селя, образованного на притоке р. Дарайсис осуществлялась с помощью транспортно-сдвиговой модели селеобразования. Для этого был добавлен расчет скорости потока и время прохождения волны. Полученный гидрограф в дальнейшем использовался в модели FLO-2D. Таким образом, были получены карты пространственного распределения скоростей и глубины потока. При моделировании по обоим сценариям будет наблюдаться затопление моста и автомобильной дороги Р–45. При этом по II сценарию в зоне затопления попадают практически все дома на конусе выноса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Филиала Агентства Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан и РФФИ (проект № 20-35-90006), а также по теме 1.7 «Опасность и риск природных процессов и явлений» (ГЗ) МГУ имени М.В. Ломоносова.

Библиографический список

1. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Академия, 2010. 304 с.
2. Тукаев О.В. Селевые явления Памира: катастрофы, закономерности, прогноз. М.: ВНИИ ГОЧС, 2002. 176 с.
3. Черноморец С.С., Висхаджиева К.С., Кидяева В.М., Куровская В.А., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Савернюк Е.А., Аришинова М.А., Черноморец М.С. Батиметрическая съемка озера Сарез (1 этап). Отчет. М.: Географический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова, 2020. Т.1. 200 с.
4. Яблоков А.А. Сели Таджикистана: Сб. научных трудов ОАО «Севкавгипроводхоз». 2009. Вып. 18. С. 88–102.
5. Huggel C., Haeberli W., Käab A., Bieri D., Richardson S. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps // Can. Geotech. Journal. 2004. Vol. 41. P. 1068–1083.
6. Jakob M., Hungr O. (eds) Debris-flow hazards and related phenomena. Berlin: Springer, 2005. 739 pp.
7. Mergili M., Schneider D., Worni R., Schneider J. F. Glacial lake outburst floods in the Pamir of Tajikistan: Challenges in prediction and modelling // 5th Int.

conf. on Debris-Flow Haz. Mitigation: Mech., Predic. and Assessment. Padua: Università La Sapien. 2011. P. 973–982.

8. O'Brien J., Julien P., Fullerton W. Two-dimensional water flood, mudflow simulation // Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 1993. Vol. 119 (2). P. 244–259.

9. Richardson S.D., Reynolds J.M. An overview of glacial hazards in the Himalayas // Quaternary International. 2000. Vol. 65/66. P. 31–47.

10. Vinogradova T.A., Vinogradov A.Yu. The experimental debris flows in the Chemolgan River basin // Natural Hazards. 2017. Vol. 88, No. 1. P. 189–198.

УДК 556

Л.С. Лебедева¹, Д. Густафссон², lyudmilaslebedeva@gmail.com

¹Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия

²Шведский метеорологический и гидрологический институт,
г. Норчепинг, Швеция

ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА РЕК В БАССЕЙНЕ ВИЛЮЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Целью исследования является оценка изменений водности рек на водосборе Вилуйского водохранилища. По восьми действующим гидрологическим постам с периодами наличия данных от 40 до 50 лет обработано 2556 выборок расходов воды по месяцам продолжительностью 30, 35, 40 и 45 лет. Результат статистического теста на наличие тренда зависит от продолжительности ряда и охвата конкретных лет. Сток в мае и июне практически не меняется. Больше всего статистически значимых положительных трендов зафиксировано в апреле, сентябре и ноябре. Среди восьми постов наибольшая доля положительных трендов зафиксирована на р.Ахтаранда и р. Вилуй. На р.Чона преобладают отрицательные тренды.

Ключевые слова: Вилуйское водохранилище, изменение речного стока, изменение климата, продолжительность ряда, статистический тест.

L. Lebedeva¹, D. Gustafsson², lyudmilaslebedeva@gmail.com

¹Melnikov Permafrost Institute, Siberian branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia

²Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden

RIVER STREAMFLOW CHANGES IN THE VILUY RESERVOIR CATCHMENT

The aim of the study is to assess changes of the river streamflow in the catchment area of the Viluy reservoir. We analyzed 2,556 time series with a duration of 30, 35, 40 and 45 years sampled from the dataset of monthly discharges for eight hydrological gauges with data availability periods from 40 to 50 years. The result of a statistical trend test depends on the time series length and the coverage of specific years. The river streamflow practically does not change in May and June. Most of the statistically significant positive trends were found in April, September and November. Among