

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.)



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

**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 водоохраных 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, Mozhaik, 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 Mozhaik 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

период выпадает значительно больше осадков, чем в зимний. В работе [1] отмечено, что наблюдающиеся современные изменения в годовом стоке на реках бассейна Волги климатообусловлены.

### **Выводы**

Выполненный анализ изменений температуры воздуха и атмосферных осадков в периоды 1976–2019 гг. и 2001–2019 гг. показывает, что на территории Волжского бассейна наблюдается потепление климата и возрастание сумм атмосферных осадков, что приводит к изменению гидрологических характеристик речной системы региона.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 20-55-00014).*

### **Библиографический список**

1. *Вопросы географии. Сборник 145. Гидрологические изменения /* Под ред. В.М. Котлякова, Н.И. Коронкевича, Е.А. Барабановой. М.: Изд. «Кодекс». 2018. 432 с.
2. *Логинов В.Ф., Микуцкий В.С. Изменения климата: тренды, циклы, паузы.* Минск. Белорусская наука. 2017. 160 с.
3. *Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем /* Под ред. С.М. Семенова. Росгидромет. 2012. 508 с.
4. *Переведенцев Ю.П., Верецагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М.* Многолетние колебания основных показателей гидрометеорологического режима Волжского бассейна. Метеорология и гидрология. 2001. №10. С. 16 – 23.
5. *Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р.* Климатические изменения в Среднем Поволжье в XIX – XXI веках. Метеорология и гидрология. 2020. №6. С. 36 – 46.

УДК 556.555

С.А. Поддубный, А.В.Кутузов, А.И.Цветков, [spod@ibiw.ru](mailto:spod@ibiw.ru)  
Институт биологии внутренних вод РАН, п. Борок, Россия

## **СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ И ВОДООБМЕН ЗАРАСТАЮЩЕГО МЕЛКОВОДЬЯ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛЖСКОГО ПЛЕСА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

Охарактеризованы морфометрические характеристики и рельеф дна типового заостровного мелководья. Рассмотрена многолетняя и сезонная динамика уровня воды в Рыбинском водохранилище с 1947 по 2020 гг. Выявлены периоды колебаний основных гидрометеорологических параметров применительно к исследуемому участку водохранилища. На основе архивных и современных данных наблюдений за структурой

течений исследованы особенности переноса воды и водообмен мелководья с учетом его сезонного зарастания макрофитами.

*Ключевые слова:* водохранилище, защищенное мелководье, уровень воды, зарастание макрофитами, течение, водообмен

S.A. Poddubnyi, A. V. Kutuzov, A.I. Tsvetkov, [spod@ibiw.ru](mailto:spod@ibiw.ru)  
*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok,  
Russia*

## **THE STRUCTURE OF CURRENTS AND WATER EXCHANGE OF OVERGROWING SHALLOW WATER (BY AN EXAMPLE OF THE VOLGA REACH OF THE RYBINSK RESERVOIR)**

The morphometric characteristics and bottom topography of typical shallow water behind the island are characterized. The long-term and seasonal dynamics of the water level in the Rybinsk reservoir during the period from 1947 to 2020 is considered. The periods of fluctuations of the main hydrometeorological parameters in relation to the investigated section of the reservoir are shown. Based on archival and modern observation data on the structure of currents, the patterns of water transport and water exchange in shallow water are investigated, considering its seasonal overgrowth with macrophytes.

*Keywords:* reservoir, protected shallow waters, water level, overgrowth with macrophytes, current, water exchange.

### ***Введение***

В равнинных водохранилищах наличие защищенных от прямого гидродинамического воздействия участков мелководий обуславливает формирование на их акваториях специфических местообитаний гидробионтов, связанных с высшими водными растениями (ВВР). Среди основных гидрологических факторов, влияющих на пространственное распределение макрофитов и многолетнюю динамику зарастания мелководной зоны, выделяются режим уровня, ветровые волны и течения [9;10]. Вместе с тем, рассматривая вопросы воздействия динамических процессов на распределение ВВР, следует отметить их двустороннее взаимодействие. С одной стороны, интенсивные ветровые волны и течения приводят к ограничению распространения ВВР в литорали [6]. С другой стороны, ассоциации макрофитов создают условия для изменения поля ветра над зарастающими участками замедления потока воды и, соответственно уменьшения водообмена и проточности защищенных мелководий [3;8;11].

Таким образом, цель работы заключается в изучении особенностей структуры течений и водообмена в пределах зарастающего заостровного мелководья Рыбинского водохранилища.

### ***Материалы и методы исследования***

Объектом исследования послужило заостровное мелководье, расположенное в Волжском плесе Рыбинского водохранилища [5]. В современных условиях при нормальном подпорном уровне (НПУ) площадь мелководья составляет 5,21 км<sup>2</sup>, при протяженности 3,8 км и средней ширине 1,8

км. Глубины от 0 до 2 м занимают 79, а более 3 м – всего 3,6% площади зеркала воды (рис. 1).

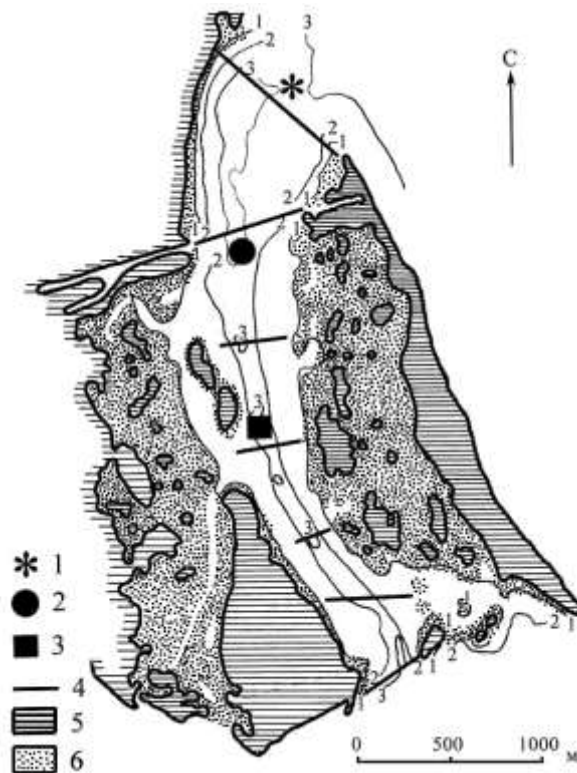


Рис.1. Схема расположения АБС и разрезов наблюдений над течениями. 1 – в 1976 г.; 2 – в 1977 г.; 3 – в 1992 г.; 4 – в 2016 и 2020 гг.; 5 – суша выше НПУ 101.81 м; 6 – площадь распространения макрофитов в начале июня по спутниковым данным

В работе использованы многолетние среднемесячные данные по уровню воды Рыбинского водохранилища, объему притока в водоем и осадкам на его зеркало, полученные в результате регулярных наблюдений Рыбинской гидрометеообсерваторией, а также заимствованные из базы данных ВНИИГМИ-МЦД [1;2].

Границы мелководья выделялись на основе спутниковых материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за период 2015–2020 гг. Контуры береговой линии мелководья для разных уровней сработки воды в водохранилище получены автоматизированной обработкой сцен спутниковых съёмок (спутники Landsat-8 и Sentinel-2) среднего пространственного разрешения (до 10 м/пиксель) в ближнем инфракрасном оптическом диапазоне.

Скорость и направление течений измерялась самописцами БПВ-2р в 1976–1977 и АЦИТТ в 1992 г. (архивные материалы ИБВВ РАН). На зарастающих участках мелководий в 2016–2020 гг. регистрация параметров течения осуществлялась с помощью акустического доплеровского профилографа Sontek Mini ADP.

Наблюдения проводились в наиболее глубокой части мелководья (протоке) с площадью при НПУ 2.2 км<sup>2</sup>, поскольку восточный и западный его участки полностью зарастал ВВР (рис. 1). В сезонном аспекте по мере развития

макрофитов площадь открытой воды протоки уменьшалась к концу лета на 60% – до 0,91 км<sup>2</sup>.

### **Результаты и их обсуждение**

*Режим уровня.* Основными факторами, определяющими размах колебаний уровня воды и их периодичность в Рыбинском водохранилище, служат: утвержденные значения уровня воды, ограничивающие полезный и противопаводковый объемы водохранилища, диспетчерские правила регулирования стока гидроузлом; гидрометеорологические и ландшафтные условия формирования стока на водосборе; морфологические особенности ложа водоема [7].

За 74 года эксплуатации Рыбинского водохранилища средняя многолетняя величина НПУ составила 101,47 м (при проектной отметке 101,81 м). Минимальный уровень предполоводной сработки (УПС) наблюдался в марте, а в отдельных случаях в феврале и в среднем достигал отметки 98,80 м. За весь период наблюдений УПС постепенно повышался и после 2004 г. практически не опускался ниже отметки 99,00 м (рис.2).

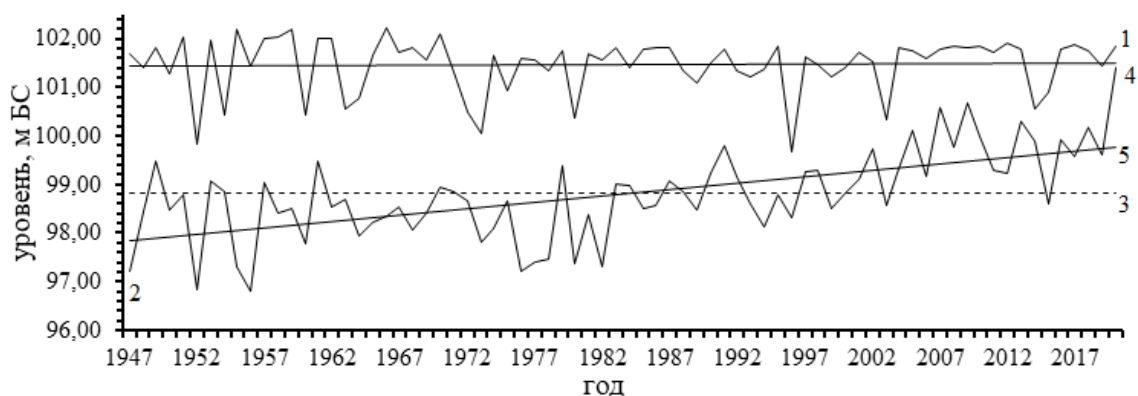


Рис.2. Многолетняя динамика уровня воды в Рыбинском водохранилище (1947–2020 гг.). 1–  $Z_{\text{макс}}$ ; 2 – УПС; 3 – принятая отметка дна исследуемого мелководья; 4 – тренд  $Z_{\text{макс}}$ ; 5 – тренд УПС

Применительно к исследуемому мелководью максимальная его глубина при НПУ составляла более 3 м, т.е. находилась ниже отметки 98,81 м. В периоды проведения съемок течений глубина мелководья варьировала от 3 м во второй половине мая до 1,6 м в первой половине сентября.

*Течения и водообмен.* Для определения основных факторов, формирующих течения в защищенном мелководье, проведена статистическая обработка временных рядов скорости течения, полученных на АБС в разных частях мелководья (рис.1), скорости ветра и объема стока через Угличскую ГЭС. На основе спектрального анализа в рядах скорости ветра выявлены колебания синоптического масштаба (2,0–3,0 и 5,0–7,0 сут) и местного характера (0,5–1,0 сут). Сток через гидроузел характеризовался недельными (5–7 сут) и полунедельными (2,5–3,5 сут) колебаниями. Кроме того, в высокочастотной области спектра отчетливо выделялись колебания с периодами 3–4, 6, 8 и 12 час. В спектрах течений преобладали колебания синоптического характера (2,0–3,5 и



5,0–6,0 сут.), суточные и полусуточные колебания, а также высокочастотные с периодами 4,5, 6 и 8 час. Регрессионный анализ исследуемых рядов выявил преобладающую роль ветра в формировании течений в пределах мелководья ( $r=0,5-0,8$ ).

Изучение пространственного распределения течений проводилось на разрезах в пределах свободной от ВВР акватории мелководья (рис. 1). В зависимости от степени развития макрофитов протяженность разрезов изменялась от 335 до 730 м в конце мая и от 95 до 216 м в середине июля. Согласно результатам измерений перенос воды происходил в направлении действия ветра. В силу незначительного ветрового воздействия (1,0–2,2 м/с) средняя скорость переноса воды вдоль продольной оси мелководья составила 2,0–3,0 см/с. Средний расход воды на разрезах изменялся от 5 до 20 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент водообмена при указанных гидрометеорологических условиях составил 0,47–0,67, т.е. вода на рассматриваемом участке зарастающего мелководья полностью сменялась за 1,5–2,0 суток (таблица).

### Гидрометеорологические характеристики зарастающего мелководья

Характеристика	Год, месяц		
	2016		2020
	май	июль	июль
Направление ветра, град.	316	120	346
Скорость ветра, м/с	1,0	2,2	1,7
Направление течения, град.	140	360	160
Скорость течения, см/с	2,2	2,0	3,0
Средняя площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	945	248	578
Средний расход воды, м <sup>3</sup> /с	20	5	17
Длина мелководья, м	3800	3800	3800
Объем воды исследуемого участка, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	3,6	0,9	2,2
Объем притока за сутки, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	1,7	0,43	1,47
Коэффициент водообмена	0,47	0,48	0,67
Время водообмена, сутки	2	2	1,5
Коэффициент проточности км/сутки	1.8	1.8	2.5

### Выводы

Результаты исследования показали, что в пределах защищенного мелководья преобладает ветровое течение. В отдельных случаях при слабом ветровом воздействии, значительных расходах воды через Угличский гидроузел, совпадении периодичности попусков со скоростью ветра и проявлениями свободных и вынужденных колебаний уровня воды вклад стока в формирование течения мелководья может превышать или быть сравнимым с вкладом ветра. Согласно более ранним исследованиям [4], периоды изменений скорости течения в волжском плесе Рыбинского водохранилища составляют 11,8, 8, 6, 2,5–3 час. Несмотря на сезонное зарастание участка макрофитами, его водообмен остается достаточно высоким.

Работа выполнена в рамках государственного задания № АААА-А18-118012690104-3.

### Библиографический список

1. Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Александрова Т. М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадкой на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 / ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск, 2019. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperatureprecipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 17.10.2019)
2. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России. Гидрографы постов. Электронный ресурс. <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/>. (accessed: 13.02.2019).
3. Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Бреховских В.Ф. Зарастающие водотоки и водоемы. М.:Наука, 2004. 310 с.
4. Литвинов А.С. О структуре течений в верхневолжских водохранилищах// Тр. Инст. биол. внутр. вод АНСССР. Рыбинск. 1977. Вып. 36(39). С.18–30.
5. Поддубный С.А. Защищенные мелководья верхневолжских водохранилищ и их экологическое значение // Вода: химия и экология. 2013. № 11. С. 25–40.
6. Роль волнения в формировании биоценозов бентоса больших озер/ Под ред. И.М.Распопова. Л.: Наука, 1990. 114 с.
7. Эдельштейн К.К. Водоохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
8. Kiss M. Physical interaction mechanisms at the littoral-pelagic interface of shallow lakes: Ph. D. thesis: Date of the public discussion of the thesis: 2015. III. 02: Date of diploma: 2015. III. 26 / Kiss Melinda; Budapest University of Technology and Economics. - Budapest, 2014. 120 p.
9. Krolova M., Cizkova H., Hejzlar J. Depth limit of littoral vegetation in a storage reservoir: A case study of Lipno Reservoir (Czech Republic)// Limnologica. 2012 Vol.42. Pp.165– 174.
10. Poddubnyi S.A., Chemeris E.V., Bobrov A.A. Influence of Water-Level Regime on the Overgrowing of Shallow Waters of the Rybinsk Reservoir. Inland water biology. 2018. Vol. 11. No. 4. Pp. 425–434.
11. Wang Chao, Zhu Ping, Wang Pei-fang, Zhang Wen-ming. Effects of aquatic vegetation on flow in the Nansi Lake and its flow velocity modeling// J. Hydrodynamic. Ser.B. 2006. Vol.18(6). Pp. 640–648.

*Научное издание*

**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.)

Издается в авторской редакции  
Техническая подготовка материалов: *Е. Г. Бочкаревой, О. В. Ларченко*

Ответственность за аутентичность и точность цитат; имен, названий  
и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной  
собственности несут авторы публикуемых материалов.

---

Объем данных 8,20 Мб  
Подписано к использованию 26.05.2021

---

Размещено в открытом доступе  
на сайте [www.psu.ru](http://www.psu.ru)  
в разделе НАУКА / Электронные публикации  
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Издательский центр  
Пермского государственного  
национального исследовательского университета.  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15