

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Научная статья

УДК 556.552; 556.11

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-86-98

СЕЗОННЫЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ
В ВОДОХРАНИЛИЩАХ КАМСКОГО КАСКАДАКсения Дмитриевна Микова¹, Виталий Германович Калинин², Михаил Александрович Фасахов³,
Аделия Александровна Шайдулина⁴, Сергей Владимирович Ясинский⁵^{1, 2, 3, 4} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия⁵ Институт географии РАН, г. Москва, Россия¹ mikovak@yandex.ru, Scopus Author ID: 57211207914, ResearcherID: JLL-9653-2023, SPIN-код: 3765-0488, РИНЦ Author ID: 153280² vgkalinin@gmail.com, Scopus Author ID: 7201527612, ResearcherID: ABC-7662-2021, SPIN-код: 9507-2306, РИНЦ Author ID: 70059³ komrad.fasakhov2017@yandex.ru, ResearcherID: ACZ-1667-2022, SPIN-код: 5284-4001, РИНЦ Author ID: 1143245⁴ AdelinaSh89@mail.ru, Scopus Author ID: 57200702775, ResearcherID: N-6027-2018, SPIN-код: 3723-4798, РИНЦ Author ID: 723724⁵ yasisergej@yandex.ru, Scopus Author ID: 57201336148, ResearcherID: AAG-8780-2021, SPIN-код: 1446-3707, РИНЦ Author ID: 59838

Аннотация. Проведен анализ сезонных и многолетних изменений концентраций биогенных веществ на Камском, Воткинском и Нижнекамском водохранилищах по материалам ведомственного мониторинга, предоставленного Камским БВУ за 2005–2022 гг., и данным АИС ГМВО. Для верификации полученных результатов использованы ежегодники качества поверхностных вод Российской Федерации за 2010–2022 гг. Анализ материалов показал, что значения концентраций различаются незначительно, при этом данные, приведенные в ежегодниках, не дают представления о сезонных величинах концентраций.

Установлено, что большая часть биогенных веществ со стоком рек (в том числе сброс сточных вод) поступает в Камское водохранилище (51 %). Поступление азота общего и фосфатов от всех источников наибольшее на Нижнекамском водохранилище – 61 и 84 % соответственно.

Наибольшие концентрации аммоний-иона наблюдаются в весенний период – период максимальной водности, наименьшие – в период летне-осенней стабилизации уровня воды. Высокие концентрации нитратов и нитритов на Камском и Нижнекамском водохранилищах наблюдаются в периоды зимней сработки и весеннего наполнения. На Воткинском водохранилище нитраты и нитриты имеют наибольшие концентрации в разные сезоны. Нитратов больше в период зимней сработки, а нитритов – в период летне-осенней стабилизации. Наименьшие концентрации фосфатов на всех водохранилищах Камского каскада наблюдаются в период весеннего наполнения и летне-осенней стабилизации. Концентрации железа за период весеннего наполнения выше, чем в период летне-осенней стабилизации. Исключением является Камское водохранилище, где наибольшие концентрации отмечаются в период зимней сработки.

Превышений ПДКр.х. по осредненным концентрациям биогенных веществ в разные сезоны нет, за исключением железа общего. Высокий природный фон содержания железа приводит к превышению ПДКр.х. по сезонам в 1,8–4,7 раз на Камском водохранилище, далее по каскаду превышения снижаются. За многолетний период у нитритов и фосфат-иона выявлена тенденция снижения концентраций, а у железа общего – повышения концентрации.

Ключевые слова: водохранилище, биогенные вещества, сезонные изменения

Финансирование. Работа выполнена в рамках реализации и при финансовой поддержке гранта РНФ 22–17–00224 «Формирование гидролого-геохимических процессов на водосборах каскадов Верхне-Волжских и Камских водохранилищ при различных сценариях землепользования и изменениях климата на их территориях».

Для цитирования: Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В. Сезонные и многолетние изменения концентраций биогенных веществ в водохранилищах Камского каскада // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 86–98. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-86-98



Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-86-98

SEASONAL AND LONG-TERM CHANGES IN THE CONCENTRATIONS OF BIOGENIC SUBSTANCES IN THE KAMA CASCADE RESERVOIRS

Ksenia D. Mikova¹, Vitaliy G. Kalinin², Mikhail A. Fasakhov³, Adeliya A. Shaydulina⁴, Sergey V. Yasinsky⁵^{1, 2, 3, 4} Perm State University, Perm, Russia⁵ Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia¹ mikovak@yandex.ru, Scopus Author ID: 57211207914, ResearcherID: JLL-9653-2023, SPIN-code: 3765-0488, RSCI Author ID: 153280² vgkalinin@gmail.com, Scopus Author ID: 7201527612, ResearcherID ABC-7662-2021, SPIN-code: 9507-2306, RSCI Author ID: 70059³ komrad.fasakhov2017@yandex.ru, ResearcherID: ACZ-1667-2022, SPIN-code: 5284-4001, RSCI Author ID: 1143245⁴ AdelinaSh89@mail.ru, Scopus Author ID: 57200702775, ResearcherID: N-6027-2018, SPIN-code: 3723-4798, RSCI Author ID: 723724⁵ yasisergej@yandex.ru, Scopus Author ID: 57201336148, ResearcherID: AAG-8780-2021, SPIN-code: 1446-3707, RSCI Author ID: 59838

Abstract. The paper provides an analysis of seasonal and long-term changes in the concentrations of biogenic substances in the Kamskoe, Votkinskoe, and Nizhnekamskoe reservoirs. The analysis was conducted based on data of the Kama Basin Water Authority for 2005–2022 and of the Automated Information System for State Monitoring of Water Bodies (AIS SMWB). The obtained results were verified with the Yearbooks of the Surface Waters Quality in the Russian Federation for 2010–2022. The analysis has shown that the concentrations differ slightly; the data provided in the yearbooks do not allow analyzing seasonal concentrations.

It has been found that river runoff (including wastewater) brings the majority of biogenic substances into the Kamskoe Reservoir (51%). The influx of total nitrogen and phosphates from all sources is greatest in the Nizhnekamskoe Reservoir – 61% and 84% respectively.

The highest concentrations of ammonium ion are observed in the spring – the period of the reservoir filling, and the lowest concentrations – during the summer-autumn stabilization of the water level. High concentrations of nitrates and nitrites in the Kamskoe and Nizhnekamskoe reservoirs are characteristic of the periods of the winter drawdown and spring filling. In the Votkinskoe Reservoir, nitrates and nitrites have the highest concentrations in different seasons. There are more nitrates during the winter drawdown and more nitrites during the summer-autumn stabilization. The lowest concentrations of phosphates in all reservoirs of the Kama cascade are observed during the spring filling and summer-autumn stabilization of water levels. Iron concentrations during the spring filling are higher than during the summer-autumn stabilization. The exception is the Kamskoe Reservoir, where the highest concentrations of iron are noted during the winter drawdown.

As to the MPC for fishing purposes (MPC_f), there are no excesses for average concentrations of biogenic substances in different seasons, with the exception of total iron. However, there are some local exceedances. The high natural concentration of iron leads to a 1.8–4.7 times excess of MPC_f by seasons in the Kamskoe Reservoir, with these excesses decreasing further along the cascade. The long-term period of observations has revealed a tendency toward a decrease in the concentrations of nitrites and phosphate ions, while total iron shows the tendency for increasing concentrations.

Keywords: reservoir, biogenic substances, seasonal changes

Funding. The work was carried out under the RSF grant No. 22-17-00224 ‘Hydrological and geochemical processes formation in the catchments of the cascades of the Upper Volga and Kama reservoirs under different land use and climate changes scenarios in their territories’.

For citation: Mikova, K.D., Kalinin, V.G., Fasakhov, M.A., Shaydulina, A.A., Yasinsky, S.V. (2025). Seasonal and long-term changes in the concentrations of biogenic substances in the Kama cascade reservoirs. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp.86–98. doi:10.17072/2079-7877-2025-1-86-98

Введение

Биогенные вещества – это вещества, представляющие собой основные минеральные соединения азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), фосфора (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$), железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}) и некоторых других микроэлементов, содержащихся в природных водах. Их концентрация непостоянна во времени и зависит от многих факторов. В первую очередь она определяется поступлением биогенных веществ со склоновым стоком с водосборной площади, с промышленными, хозяйственно-бытовыми, сельскохозяйственными сточными водами, а также в результате жизнедеятельности растительных и водных организмов, в жизни которых биогенные вещества играют определенную роль [20]. Повышенное поступление биогенных веществ с водосборных территорий в водные объекты яв-

*Гидрология**Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.*

ляется одной из причин их загрязнения, в ряде случаев вызывающего эвтрофирование вод. Масштабы влияния человеческой деятельности на поверхностные воды зависят от природно-хозяйственных особенностей территорий, определяющих величину биогенной нагрузки на водосбор и закономерности выноса биогенных веществ в водные объекты [23]. Исследование процессов выноса биогенных веществ в водные объекты ведется с 1980-х гг. [4, 12]. В последнее десятилетие большое количество работ посвящено вопросам количественной оценки выноса биогенных веществ с водосборных площадей водных объектов [17, 20, 23]. Оценкой выноса веществ с водосборов водохранилищ и моделированием генетической структуры водного и химического стока на протяжении долгого времени занимаются сотрудники Института водных проблем РАН и Института географии РАН. Обобщающей работой по проблеме диффузного загрязнения Волжского бассейна и его многочисленных водохранилищ является монография 2020 г. [8].

Первые исследования гидрохимического режима Камского и Воткинского водохранилищ были проведены в начальные годы его существования [2, 3], а обобщение материалов многолетних наблюдений – в середине второй половины XX в. [13]. Позднее изучались естественный гидрохимический режим, вертикальная неоднородность водных масс и техногенное загрязнение водохранилищ [5, 6, 7, 10]. В работе И.А. Келлер и А.Б. Китаева [10] выполнен анализ сезонной динамики биогенных веществ по длине камских водохранилищ на основе материалов гидрохимических съемок водоемов за год, близкий по водности к среднему. Выявлено, что Камское и Воткинское водохранилища во все фазы их водного режима подвержены сильнейшему техногенному воздействию. Для условий Камского водохранилища А.В. Богомоловым и др. [5] на основе применения метода кластерного анализа выполнена оценка связности химических показателей качества воды, в том числе биогенных веществ, по акватории водохранилищ. Результаты гидродинамического моделирования позволили определить пути миграции загрязняющих веществ и спрогнозировать их концентрации.

Моделированием генетических составляющих водного и химического стока в бассейне Нижнекамского водохранилища на протяжении последних лет занимается коллектив авторов [21, 22]. Ими проведена оценка вклада поверхностной, почвенной и грунтовой составляющих водного и химического стока, показано влияние генетической структуры водного и химического стока на межгодовые и сезонные изменения содержания металлов в речной сети.

В материалах [9] приводится динамика вероятностных концентраций загрязняющих веществ и показателей качества воды отдельных водных объектов бассейна р. Камы – Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ в целом, т.е. без учета отдельных створов, за год. Следует отметить, что для камских водохранилищ практически отсутствуют работы, посвященные изучению сезонной динамики биогенных веществ.

Цель настоящей работы – выявление закономерностей сезонных и годовых изменений концентраций биогенных веществ на водохранилищах Камского каскада.

Характеристика исследуемой территории

Водосбор водохранилищ Камского каскада расположен в пределах двух природных стран: Русской равнины и Уральской горной страны. Равнинная часть бассейна расположена в пределах лесной, лесостепной и частично степной зон; горная – в пределах горных природных зон: Северо-Уральской, Средне-Уральской и Южно-Уральской. Поскольку бассейн имеет большую протяженность с севера на юг, территории существенно отличаются между собой по рельефу, климату, почвенному покрову, растительности и др. [19]. Климат водосбора резко континентальный, наблюдаются большие колебания температуры воздуха как внутри года, так и в течение суток. Средняя годовая температура воздуха изменяется с севера на юг от 0,8 до 4 °С [18].

Водохранилища Камского каскада используются для регулирования стока, выработки электроэнергии, водоснабжения, судоходства, рекреации, промышленного и любительского рыболовства и др. Каскад включает в себя три гидроузла (Камский, Воткинский и Нижнекамский). Все водохранилища являются долинными [24]. Камское водохранилище (первое в каскаде) было наполнено в 1956 г. Нормальный подпорный уровень воды – 108,5 м БС, объем водохранилища – 12,2 км³. Воткинское водохранилище (второе в каскаде) было наполнено в 1964 г. Нормальный подпорный уровень воды – 89,0 м БС, объем водохранилища – 9,4 км³ [14]. Нижнекамское водохранилище (третье в каскаде) было наполнено до промежуточной отметки 62,0 м БС в 1979 г. при проектной отметке в 68,0 м БС. С 2002 г. уровень воды был увеличен до отметки 63,3 м БС. Объем водохранилища – 4,21 км³ [15]. Водохранилища осуществляют сезонное, недельное и суточное регулирование стока. Весной водохранилища наполняются, в течение 3–4 месяцев летне-осеннего периода уровень воды удерживается на отметке, близкой к НПУ. В зимний сезон на водохранилищах происходит сработка уровня воды [11].

Материалы и методы

Для анализа многолетних и сезонных изменений концентраций биогенных веществ (соединения азота, аммоний-ион, нитраты, нитриты, фосфаты (по фосфору) и железо общее) на камских водохранилищах использованы материалы ведомственного мониторинга КамБВУ за 2005–2022 гг.

Исходные данные представляют собой концентрации биогенных веществ в поверхностном горизонте. Количество пунктов отбора проб и период наблюдений на водохранилищах неодинаково. Так, на Камском водохранилище – 7 точек, на Воткинском – 11 точек отбора за период 2005–2022 гг. На Нижнекамском – 22 точки отбора за период 2010–2022 гг. из них: 11 – на Камском плесе до впадения р. Белой; 9 – на Бельском плесе; 2 – в озеровидной части Нижнекамского водохранилища (рис. 1). В каждой точке отбора наблюдения проводились ежемесячно. Концентрации биогенных веществ в водохранилищах рассчитывались для четырех водохозяйственных

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

сезонов: зимняя сработка (ноябрь–март), весеннее наполнение (апрель–июнь), период летней (июль–август) и осенней (сентябрь–октябрь) стабилизации уровня воды и навигационной сработки. Расчет производился путем осреднения концентраций загрязняющих веществ за период наблюдений для каждой точки по отдельности.

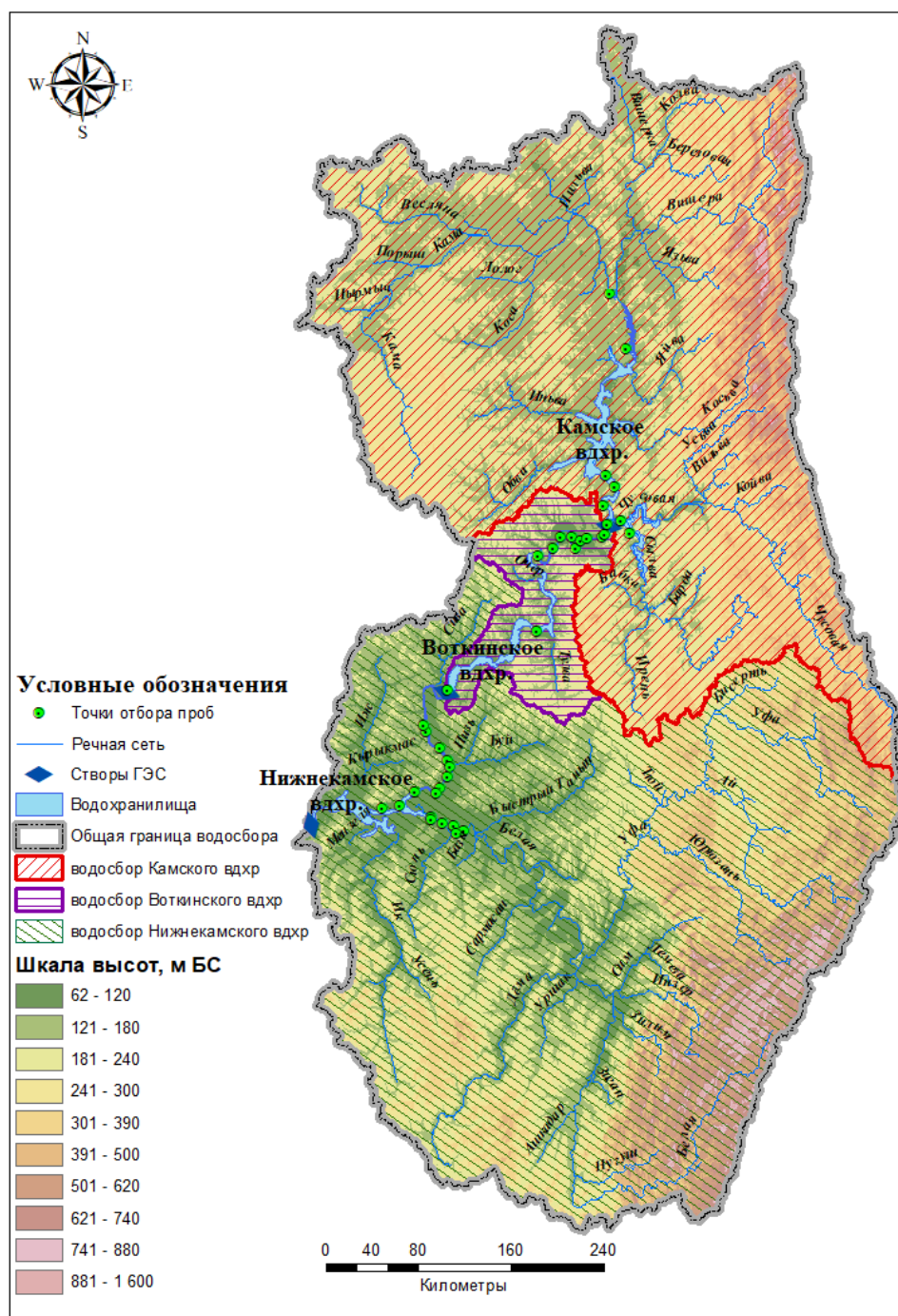


Рис. 1. Расположение точек отбора проб на водохранилищах Камского каскада

Fig. 1. Location of sampling points on the reservoirs of the Kama cascade

Для оценки химического состава воды использованы предельно допустимые концентрации в водоеме, применяемые для рыбохозяйственных целей (ПДКр.х.). ПДКр.х. – это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать негативного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых. Значения ПДКр.х. представлены в утвержденном нормативе по качеству воды водных объектов рыбохозяйственного значения [16].

Для верификации полученных результатов использованы ежегодники качества поверхностных вод РФ за 2010–2022 гг. [9].

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Структура земель водосборов камских водохранилищ приведена в табл. 1. На территории водосбора Камского водохранилища остались непереработанные первичные ландшафты, характеризующие зональный природный фон. Леса, занимающие 79 % территории, еще не подвержены активному хозяйственному использованию, но на них оказывает воздействие загрязненная промышленными выбросами атмосфера. На территории водосбора Воткинского водохранилища без учета водосбора Камского водохранилища расположено наименьшее количество промышленных предприятий и городов с численностью населения более 50000 чел. Наибольшие площади сельскохозяйственных земель (105357 из 132535 км²), количество промышленных предприятий (512 из 817) и городов с населением свыше 50000 чел. (33 города) расположены на территории водосбора Нижнекамского водохранилища.

Таблица 1

Площадные и количественные экономико-географические показатели в границах водосборов камских водохранилищ
Areal and quantitative economic-geographical indicators within the boundaries of the catchment areas of the Kama reservoirs

Показатели	Единицы измерения	Общая характеристика для камских водохранилищ	Водохранилища		
			Камское	Воткинское	Нижнекамское
Площадь водосбора (Ав)*	км ²	370000	168000	16000	186000
	%	100 %	45 %	4 %	51 %
Площадь с/х полей (Ас/х)**	км ²	132535	20541	6637	105357
	% от Ав	36 %	12 %	42 %	57 %
Площадь лесного покрова (Ал)**	км ²	218397	133258	7870	77269
	% от Ав	59 %	79 %	49 %	42 %
Количество промышленных предприятий (Кпр.пр.)***	шт.	817	121	184	512
	% от Кпр.пр.	100 %	15 %	23 %	62 %
Количество городов (свыше 50000 чел.) (Кгор)***	ед.	50	13	4	33
	% от Кгор	100 %	26 %	8 %	66 %

Примечание: по данным *ПИВР [14, 15]; **электронных топографических карт Роскартографии масштаба 1:100000; ***Росстата

Результаты и их обсуждение

Источники поступления биогенных веществ в камские водохранилища. Биогенные вещества поступают в камские водохранилища со сбросами сточных вод предприятий в виде выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий и за счет ведения животноводства.

Анализ расчетов поступления биогенных веществ со сбросами сточных вод предприятий показал, что большая часть веществ попадает в основном в Камское водохранилище – 51 % (табл. 2). В два раза меньше сточных вод, содержащих биогенные вещества, попадает в Воткинское (25 %) и Нижнекамское (24 %) водохранилища.

Азот общий – это сумма органических (белковых, мочевиновых) и минеральных (аммонийной, нитратной, нитритной) форм азота. Анализ данных АИС ГМВО [1] за 2010–2021 гг. показал, что наибольшее количество азота общего поступает в Камское водохранилище со сбросами сточных вод предприятий – 38 399 т/год, что составляет 70 % от величины общего поступления в камские водохранилища. На водосборе Камского водохранилища находится много крупных заводов (биохимические, коксохимические, химические и электросварочного оборудования), предприятия пищевой промышленности, предприятия ЖКХ, целлюлозно-бумажные комбинаты и т.д.

Поступление нитрат-аниона в абсолютных значениях наибольшее среди биогенных веществ по всем водохранилищам 64370–105467 т/год. Большая часть нитрат-аниона поступает в Камское водохранилище (42 %). Нитрит-анионов со сточными водами в воды камских водохранилищ поступает меньше – 428–3988 т/год. Большая часть стоков также приходится на Камское водохранилище (72 %).

Фосфаты относительно других биогенных веществ поступают более равномерно, годовые сбросы изменяются от 1913 до 3286 т/год. Больше всего фосфатов со сточными водами поступает в Воткинское водохранилище (43 %), меньше – в Нижнекамское (25 %). Химическая, сельскохозяйственная и пищевая промышленность являются основными источниками фосфора и его соединений в сточных водах. Порядка 90 % поступления железа со сточными водами приходится на Камское водохранилище. Железо в значительном количестве переносится сточными водами предприятий металлообрабатывающей, металлургической, лакокрасочной и текстильной промышленности. Помимо этого, источниками соединений железа в природных водах являются процессы растворения и химического выветривания горных пород, поступление вод с подземным стоком и стоком с сельскохозяйственных территорий.

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Таблица 2

Количество биогенных веществ, поступающих со сбросами сточных вод предприятий в камские водохранилища с 2010 по 2021 г. (по данным АИС ГМВО)
The amount of biogenic substances entering the Kama reservoirs with wastewater discharges from enterprises from 2010 to 2021 (according to the AIS SMWB)

Биогенные вещества	Водохранилища					
	Камское		Воткинское		Нижнекамское	
	тонны	%	тонны	%	тонны	%
Азот общий*	38399	70	15184	28	–	–
Аммоний-ион	4481	78	656	11	616	11
Нитрат-анион	105467	42	64370	26	79059	32
Нитрит-анион	3988	72	1103	20	428	8
Фосфаты	2365	31	3276	44	1913	25
Железо	5772	90	408	6	225	4

Примечание: * статистика по общему азоту 2-ТП (водхоз) неполная, показатель измеряется не везде, приводится в таблице справочно; «–» данные отсутствуют

Для азота общего и фосфатов выполнено сравнение величин, движущихся из разных источников (табл. 3). Вынос биогенных веществ со сточными водами предприятий рассчитан за период 2010–2021 гг. с сельскохозяйственных угодий и от животноводства по данным на 2008 и 2009 гг. соответственно. Масса выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий рассчитана для водохранилищ на основе данных по водохозяйственным участкам, представленным в [19], с учетом вида сельхозугодий, содержания биогенных веществ в почвах, количества вносимых удобрений и слоя стока в период весеннего половодья и дождевых паводков. Данные расчеты позволяют учесть вынос биогенных веществ только с жидким стоком, хотя они попадают в водохранилища и с частицами почвы при эрозионных процессах на склоновых землях. Вынос биогенных веществ за счет ведения животноводства рассчитан по данным водохозяйственных участков, представленных в [19], где для ориентировочной оценки влияния животноводства на поверхностные воды проведен расчет количества образующихся отходов в переводе на азот и фосфор. На Камском и Воткинском водохранилищах наибольшее поступление азота общего и фосфатов происходит за счет сброса сточных вод в водные объекты. Поскольку площадь сельхозугодий на водосборах Камского и Воткинского водохранилищ небольшая – 15 и 5 % соответственно (табл. 1), то и величина азота общего и фосфатов минимальна (5–12 %) (табл. 3). Наибольшее поступление азота общего и фосфатов от всех источников на Нижнекамском водохранилище – 61 и 84 % соответственно. Здесь сосредоточены обширные площади сельскохозяйственных угодий – 105357 км², что составляет 79 % от общей площади всех сельскохозяйственных полей на водосборе камских водохранилищ (табл. 1). Также на территории водосбора Нижнекамского водохранилища находится самое большое поголовье крупного рогатого скота, свиней, овец, коз, лошадей и птицы [19], поэтому величина поступления азота общего здесь наибольшая (87 %) среди водохранилищ Камского каскада. Проникновение биогенных веществ со сточными водами предприятий на территории Нижнекамского водохранилища незначительное и составляет всего 2 % от всех точечных сбросов, попадающих в камские водохранилища.

Таблица 3

Количество азота общего и фосфатов в % от суммы веществ, поступающих в камские водохранилища
The amount of total nitrogen and phosphates in % of the sum of substances entering the Kama reservoirs

Источники	Камское		Воткинское		Нижнекамское	
	Азот общий	Фосфаты	Азот общий	Фосфаты	Азот общий	Фосфаты
Поступление со сточными водами предприятий	70	31	28	43	–	26
Поступление с сельхозугодий*	12	8	6	5	82	87
Поступление от животноводства*	8	8	5	5	87	87
Всего:	27	9	12	7	61	84

Примечание: * – по данным водохозяйственных участков в СКИОВО (2014); «–» данные отсутствуют

Прежде чем давать оценку сезонных величин концентраций биогенных веществ водохранилищ Камского каскада, необходимо выполнить верификацию материалов ведомственного мониторинга КамБВУ с данными гидрохимических ежегодников (рис. 2). Информация о концентрациях загрязняющих веществ в них приводится для конкретного водохранилища в целом за год [9].

Анализ рис. 2. показал, что значения концентраций различаются незначительно. Величины средних многолетних концентраций биогенных веществ по материалам мониторинга Камского БВУ несколько ниже, чем данные ежегодников качества поверхностных вод РФ. Это может быть обусловлено разным периодом осреднения. Наибольшие расхождения характерны для Камского водохранилища, где значения концентрации аммоний-иона ниже на 0,16, а железа общего – на 0,19 мг/л.

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

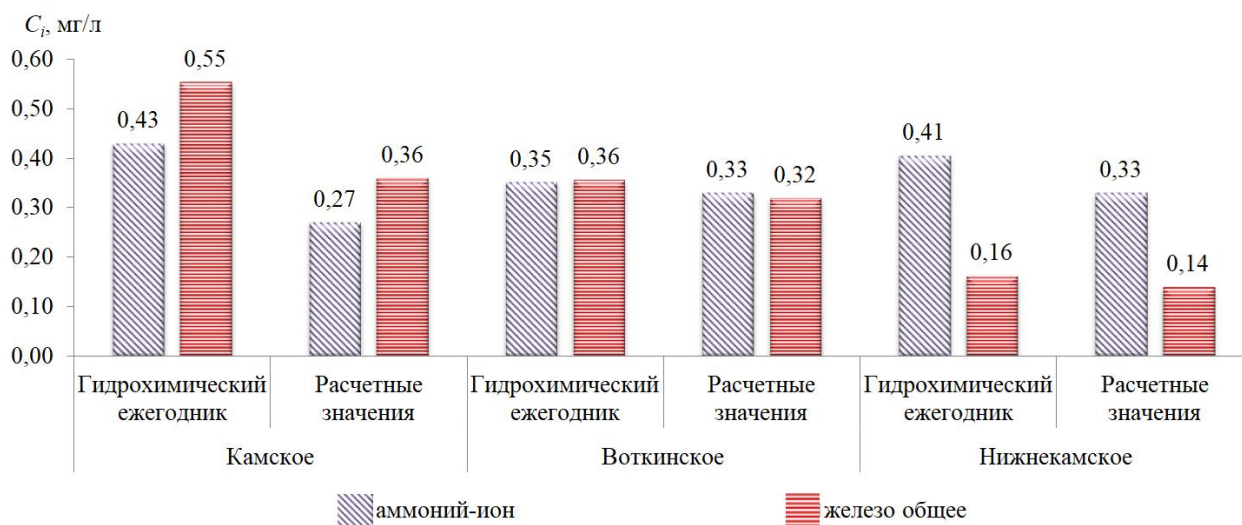


Рис. 2. Средние многолетние концентрации биогенных веществ (мг/л) в водохранилищах Камского каскада по материалам Гидрохимических ежегодников качества поверхностных вод РФ (за 2010–2022 гг.) и по расчетным значениям мониторинга КамБВУ (за 2005–2022 гг.)

Fig. 2. Average long-term concentrations of biogenic substances (mg/l) in the reservoirs of the Kama cascade based on the data of the Hydrochemical Yearbooks of Surface Waters Quality in the Russian Federation (2010–2022) and on the calculated values of the Kama Basin Water Authority's monitoring (2005–2022)

При этом данные, приведенные в ежегодниках [9], не позволяют судить о концентрациях таких биогенных веществ, как нитраты, нитриты и фосфат-ионы, а также не дают представление о сезонных величинах их концентраций.

Характеристика стока биогенных веществ в разные сезоны по длине камских водохранилищ. Анализ концентраций биогенных веществ в воде камских водохранилищ, осредненных по сезонам водности, показал, что наибольшие концентрации аммоний-иона наблюдаются в весенний период – фазу максимальной водности (табл. 4). На Камском и Воткинском водохранилищах максимальный сброс биогенных веществ поступает с промышленных предприятий, а на Нижнекамском водохранилище – с сельскохозяйственных земель во время снеготаяния. На Камском водохранилище наименьшие из средних концентраций аммоний иона (0,14 мг/л) наблюдаются в период летне-осенней стабилизации, когда наполнение водохранилищ близко к НПУ. В период зимней сработки концентрации данного вещества увеличиваются и в период весеннего наполнения достигают наибольших значений (табл. 4). На Воткинском водохранилище сезонные концентрации аммоний-иона (0,21–0,41 мг/л) изменяются так же, как и на Камском водохранилище.

Максимальную сельскохозяйственную нагрузку испытывает водосбор Нижнекамского водохранилища, где расположены обширные площади сельскохозяйственных угодий и большое поголовье крупного рогатого скота. Самые значительные концентрации средних по сезонам величин аммоний-иона наблюдались во все сезоны, но чаще всего в период весеннего наполнения (табл. 4). В данный сезон содержание аммоний-иона составляло 0,35 мг/л.

Высокие концентрации нитратов и нитритов на Камском и Нижнекамском водохранилищах отмечаются при наименьших объемах воды – в периоды зимней сработки и весеннего наполнения. В период летне-осенней стабилизации концентрации нитратов наименьшие (0,34–1,15 мг/л). На Воткинском водохранилище нитраты и нитриты имеют наибольшие концентрации в разные сезоны. Нитратов больше в период зимней сработки (1,65 мг/л), нитритов – в период летне-осенней стабилизации (0,012 мг/л).

Минимальные концентрации фосфатов на всех водохранилищах Камского каскада наблюдаются в период весеннего наполнения (0,017–0,022 мг/л) и летне-осенней стабилизации (0,018–0,025 мг/л) (табл. 4). Низкие концентрации фосфатов можно объяснить высоким потреблением фосфора водными растениями в период вегетации. Максимум концентраций фосфатов на всех водохранилищах Камского каскада отмечен в период зимней сработки (0,026–0,031 мг/л). Происходит это из-за отмирания нижней водной растительности и прекращения потребления фосфатов высшей водной растительностью вследствие низких температур воды и отсутствия солнечного света.

Анализ сезонного изменения железа общего на Камском водохранилище показал, что наибольшие концентрации отмечаются в период зимней сработки. В период весеннего наполнения концентрации железа в Камском водохранилище снижаются (0,42 мг/л) и достигают наименьших значений (0,18 мг/л) в период летне-осенней стабилизации (табл. 4).

Такое снижение концентраций происходит из-за того, что в весенний период в водохранилище с водосбора поступает большой объем пресной воды от снеготаяния. Весенний период включает в себя три месяца: апрель, май и июнь. В апреле и начале мая происходит сработка Камского водохранилища, которой соответствуют высокие концентрации железа, поступающего с грунтовым питанием и стоком с болот Верхней Камы (естественный природный фон). Далее начинается наполнение водохранилища талыми водами. Поэтому средние концентрации

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

железа за период весеннего наполнения выше, чем в период летне-осенней стабилизации уровня воды, когда водохранилище полностью наполнено водами, поступившими от снеготаяния. В целом, на Камском водохранилище концентрации железа выше (0,18–0,47 мг/л), чем на нижерасположенных водохранилищах каскада (0,11–0,41 мг/л).

Таблица 4

Сезонные концентрации биогенных веществ (мг/л) на камских водохранилищах
Seasonal concentration of biogenic substances (mg/l) in the Kama reservoirs

Seasonal concentration of biogenic substances (mg/l) in the Kama reservoir				
Показатель	ПДК	Водохозяйственные сезоны		
		Зимняя сработка	Весеннее наполнение	Летне-осенняя стабилизация
Камское водохранилище				
Аммоний-ион	0,50	0,32	0,35	0,14
Нитраты	40	1,03	1,30	0,34
Нитриты	0,08	0,007	0,012	0,006
Фосфаты	0,20	0,031	0,017	0,018
Железо общее	0,10	0,47	0,42	0,18
Воткинское водохранилище				
Аммоний-ион	0,50	0,37	0,41	0,21
Нитраты	40	1,65	1,46	0,42
Нитриты	0,08	0,009	0,011	0,012
Фосфаты	0,20	0,028	0,022	0,021
Железо общее	0,10	0,39	0,41	0,15
Нижнекамское водохранилище				
Аммоний-ион	0,50	0,32	0,35	0,33
Нитраты	40	2,30	2,43	1,15
Нитриты	0,08	0,025	0,030	0,028
Фосфаты	0,20	0,026	0,018	0,025
Железо общее	0,10	0,12	0,18	0,11

Примечание: полужирным шрифтом выделены величины, превышающие ПДК

На Воткинском и Нижнекамском водохранилищах наибольшие концентрации железа наблюдались в период весеннего наполнения (0,41 и 0,18 мг/л соответственно). В этот период воды вышерасположенного Камского водохранилища в результате сработки интенсивно поступают в нижележащие водохранилища каскада, увеличивая зимние концентрации железа. В последующий период летне-осенней стабилизации концентрации железа на Воткинском и Нижнекамском водохранилищах наименьшие. Превышений ПДК_{р.х.} (табл. 4) по биогенным веществам нет, за исключением железа общего. Во все сезоны концентрации железа превышают ПДК_{р.х.} в 1,1–4,7 раз (табл. 4).

От верховьев Камского водохранилища к плотине Нижнекамского гидроузла концентрации аммоний-иона и железа общего снижаются (рис. 3).

Концентрация аммоний-иона снижается в 2 раза, а железа общего – в 10 раз по мере удаления от источника поступления. Затем отмечается небольшой рост концентраций аммоний-иона на Нижнекамском водохранилище до 0,38 мг/л, в основном за счет притока биогенных веществ от предприятий сельского хозяйства и животноводства. Содержание в воде нитратов и нитритов имеет схожую динамику – рост от верхних участков Камского водохранилища к плотине Нижнекамского гидроузла с локальными пиками в районе г. Перми. В целом их концентрации увеличиваются в 5–6 раз. На верхних участках каскада концентрации нитратов невелики и составляли 0,35–0,50 мг/л (д. Пыскор, пос. Керчевский), а к плотине Нижнекамского гидроузла увеличиваются до 2,39 мг/л у д. Усть-Бельск. Фосфаты имеют высокие концентрации на верхнем участке Камского водохранилища (0,03 мг/л), несколько снижаются в центральной части (0,015 мг/л), затем снова увеличиваются в районе г. Перми (0,031 мг/л). На Воткинском водохранилище концентрации фосфатов растут к приплотинному участку Воткинской ГЭС (0,022–0,023 мг/л).

Если рассматривать изменения значений превышений ПДК_{р.х.} железа по длине водохранилищ, то следует отметить, что среднегодовые превышения концентраций ПДК_{р.х.} снижаются по длине каскада с 9,7 ПДК_{р.х.} на участке, расположенном выше Камского водохранилища (пос. Керчевский), где столь высокое содержание железа обусловлено естественным природным фоном, до 6,4 ПДК_{р.х.} (д. Пыскор) в районе Березниковско-Соликамского промузла. Ниже данного участка также происходит существенное снижение концентраций железа в водах Камского водохранилища. Так, у д. Пахнино (ниже центральной части Камского водохранилища) концентрации составляют уже 3,8 ПДК_{р.х.}, несмотря на значительное техногенное воздействие на сток, связанное с изливами воды из ликвидированных шахт Кизеловского угольного бассейна. Далее вниз по каскаду концентрации продолжают снижаться и достигают наименьших значений на Нижнекамском водохранилище (0,9 ПДК_{р.х.} у с. Каракулино и д. Усть-Бельск).

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

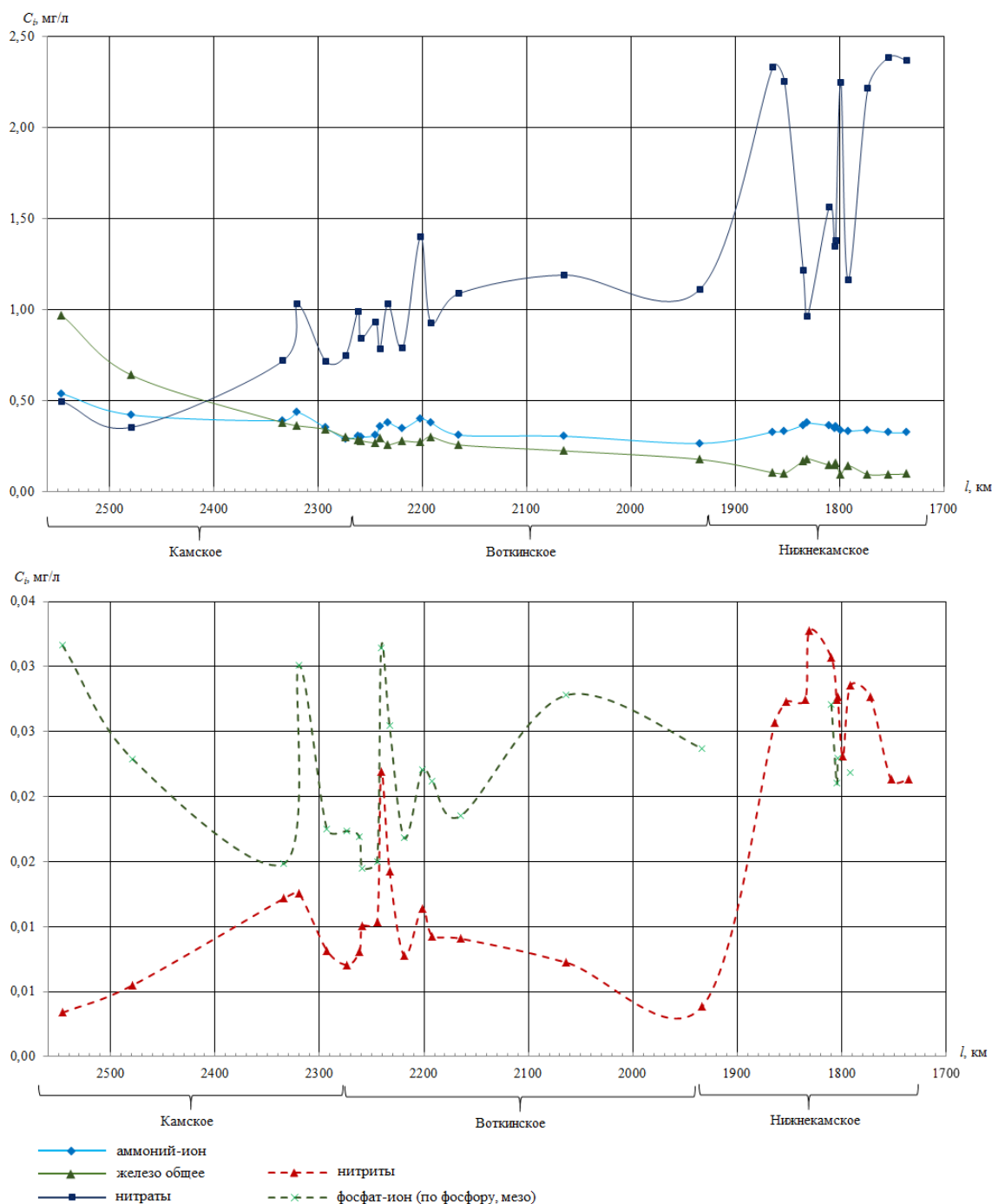


Рис. 3. Среднее за период 2005–2022 гг. изменение концентраций биогенных веществ (мг/л) по длине судового хода (км) камских водохранилищ

Fig. 3. Average change in concentrations of biogenic substances (mg/l) along the shipping channel (km) of the Kama reservoirs for 2005–2022

В целом на изменение концентраций биогенных веществ на камских водохранилищах оказывают влияние: природный фон, стоки промышленных вод на верхних участках Камского водохранилища (Соликамско-Березниковский промузел), сбросы предприятий в районе г. Перми и сток с сельскохозяйственных территорий водосбора Нижнекамского водохранилища.

Многолетняя динамика годовых ПДКр.х. биогенных веществ. Анализ многолетней динамики годовых концентраций биогенных веществ, выполненный за два периода – 2005–2013 и 2014–2022 гг., показал, что величины аммоний-иона, нитритов и фосфат-иона снижаются на всех водохранилищах каскада. Так, понижение концентраций аммоний-иона составляет 8–22 %, при этом наибольшее снижение отмечено на Воткинском водохранилище (рис. 4а) – с 0,77 до 0,60 ПДКр.х. (22 %). У железа общего за весь рассматриваемый многолетний период

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

наблюдались существенные превышения ПДК_{р.х.}. Самые высокие превышения годовых концентраций были зарегистрированы на Воткинском водохранилище (рис. 4б) в 2007 г. (4,47 ПДК_{р.х.}), а на Нижнекамском водохранилище в 2009 г. – 5,39 ПДК_{р.х.}. За период 2014–2022 гг. наблюдается рост превышений ПДК_{р.х.} на 5–19 % по сравнению с периодом 2005–2013 гг.

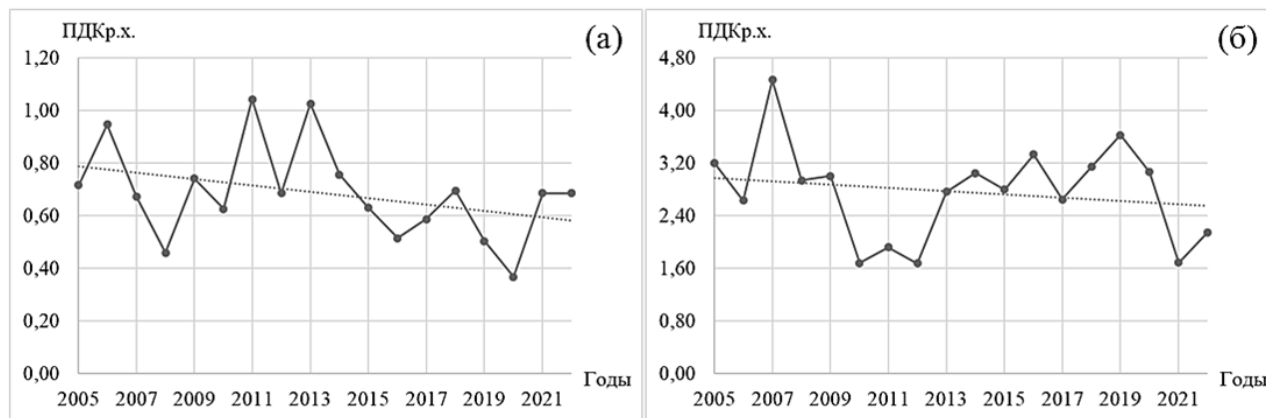


Рис. 4. Многолетнее изменение превышений ПДК_{р.х.} аммоний-иона (а) и железа общего (б) на Воткинском водохранилище за период 2005–2022 гг.

Fig. 4. Long-term changes in the exceedance of MPCf of ammonium ion (a) and total iron (б) in the Votkinskoe reservoir for 2005–2022

Содержание нитратов на исследуемых водохранилищах имеет разнонаправленную динамику. На Камском и Нижнекамском водохранилищах превышения ПДК_{р.х.} концентраций нитратов увеличиваются на 12–14 %, а на Воткинском водохранилище незначительно снижаются (на 6 %). При этом все концентрации нитратов соответствуют нормам ПДК_{р.х.}

Самое большее снижение концентраций ПДК_{р.х.} (на 82–90 %) за исследуемый период наблюдается у нитритов. Также отмечается снижение концентраций фосфат-иона на 18–33 %. Наибольшее снижение связано с Воткинским водохранилищем – с 0,19 до 0,12 ПДК_{р.х.}. Превышения рыбохозяйственных нормативов по значениям среднегодовых концентраций нитритов и фосфатов в воде водохранилищ Камского каскада не выявлены.

Как правило, изменение многолетних концентраций веществ имеет схожие черты на всех водохранилищах. Так, концентрации соединений азота, нитритов и фосфатов снижаются за исследуемый период на всех водохранилищах, а железа и нитратов – увеличиваются.

Выводы

1. Большая часть биогенных веществ со сбросами сточных вод предприятий поступает в Камское водохранилище – 51 %. В два раза меньше сточных вод, содержащих биогены, поступает в Воткинское (25%) и Нижнекамское (24%) водохранилища.

2. Поступление азота общего и фосфатов от всех источников на Нижнекамском водохранилище наибольшее – 61 и 84 % соответственно, т.к. здесь сосредоточены обширные площади сельскохозяйственных земель и активно развито животноводство. Поступление азота общего и фосфатов на Камском и Воткинском водохранилищах происходит в основном за счет сброса сточных вод – 70 и 31 % соответственно, т.к. площадь сельхозугодий небольшая (5–15 %).

3. Верификация средних многолетних концентраций биогенных веществ по материалам мониторинга Камского БВУ с данными ежегодников качества поверхностных вод РФ показала, что концентрации различаются незначительно. Наибольшие расхождения характерны для Камского водохранилища, где концентрации аммоний-иона ниже на 0,16, а железа общего на 0,19 мг/л. Однако материалы ежегодников не обладают такой полнотой, как данные КамБВУ, а также не позволяют судить о сезонных величинах концентраций биогенных веществ.

4. На формирование режима концентраций железа на камских водохранилищах определяющее влияние оказывает высокий природный фон. Так, на участке выше Камского водохранилища среднее превышение ПДК_{р.х.} концентрации железа за многолетний период составило 9,7 ПДК_{р.х.}. На Камском и Воткинском водохранилищах это превышение снизилось до 2,8–3,0 ПДК_{р.х.}. В верхней части Нижнекамского водохранилища (до д. Усть-Бельск) средние концентрации железа составили 1,4 ПДК_{р.х.}, ниже по течению – 1,0 ПДК_{р.х.}.

5. По сезонам средних превышений ПДК_{р.х.} по биогенным веществам нет, за исключением железа общего. Содержание железа на Камском водохранилище превышает норму в 1,8–4,7 раз. Наибольшее превышение (4,7 ПДК_{р.х.}) наблюдается в зимний сезон. При этом по всем биогенным веществам имеют место точечные превышения в местах отбора проб.

6. Изменение многолетних концентраций веществ имеет схожие черты на всех водохранилищах каскада. Величины аммоний-иона, нитритов и фосфат-иона снижаются. У фосфат-иона выявлена тенденция уменьшения концентраций (на 18–33 %). Больше понижение концентраций ПДК_{р.х.} (на 82–90 %) за исследуемый период

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

наблюдается у нитритов. Превышений рыбохозяйственных нормативов по среднегодовым концентрациям нитритов и фосфатов в воде камских водохранилищ не выявлено. Годовые концентрации железа общего увеличились на 5–19 % за период 2014–2022 гг. по сравнению с периодом 2005–2013 гг. При том, что по этому показателю наблюдается существенное превышение ПДК_{р.х.}

Библиографический список

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 05.08.2024)
2. Балабанова З.М. Гидрохимическая характеристика Камского водохранилища (1954–1955 гг.) // Тр. Уральского отделения ГОСНИОРХА. 1961. Т. 5. С. 38–104.
3. Балабанова З.М. Физико-химический режим Камского водохранилища и факторы его формирования (1956–1958 гг.) // Матер. Всесоюз. совещан. по эксплуатации Камского вод-ща. Пермь, 1959. Вып. 1. 9 с.
4. Башкин В.Н., Кудяров А.Ю. Смыв азота, фосфора и калия с водосборных территорий рек, дренирующих сельскохозяйственные районы // Водные ресурсы. 1989. № 6. С. 36–45.
5. Богомолов А.В., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Гребенева М.Г. Особенности колебаний вертикальных структур полей минерализации в Камском водохранилище в период летней межени в районе г. Березники // Горное эхо. 2021. № 4. С. 3–11. DOI: 10.7242/echo.2021.4.1
6. Возняк А.А., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Богомолов А.В. Масштабы и структура диффузного загрязнения Камского водохранилища / VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов»: сборник научных трудов. Пермь: ПГНИУ, 2019. Т. 2. С. 34–39.
7. Даценко Ю.С., Мотовилов Ю.Г., Пуклаков В.В. Моделирование гидроэкологического режима Камского водохранилища / III Международной научно-практической конференции «Экология речных бассейнов»: сборник научных трудов. В.: ВГУ, 2005. С. 360–362.
8. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения / ФГБУН Институт водных проблем РАН. М.: РАН, 2020. 512 с.
9. Качество поверхностных вод РФ. Ежегодник с приложением. Гидрохимический институт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды URL: <https://gidrohim.com/node/44> (дата обращения: 05.08.2024)
10. Келлер И.А., Китаев А.Б. Динамика биогенных веществ в Воткинском водохранилище // Географический вестник. 2011. № 3. С. 27–35.
11. Китаев А.Б. Химический состав воды Камского водохранилища в начале XXI столетия // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии, водном хозяйстве и геоэкологии. 2020. С. 100–103.
12. Коплан-Дикс М.С., Назаров Г.В., Кузнецов В.К. Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши. Л.: Наука. Ленинградское отделение. 1985. 180 с.
13. Матарзин Ю.М., Богословский Б.Б., Мацкевич И.К. Формирование водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство: учебное пособие по спецкурсу «Гидрология водохранилищ». Пермь: ПГУ, 1981. 96 с.
14. Правила использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Каме / Федеральное агентство водных ресурсов. 2016. 202 с.
15. Правила использования водных ресурсов Нижнекамского водохранилища на р. Каме / Федеральное агентство водных ресурсов. 2014. 132 с.
16. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». Зарегистрирован в Минюсте России 13.01.2017 г. № 45203.
17. Селезнева А.В. Оценка диффузного загрязнения Саратовского водохранилища // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. Т. 20. № 5(2). С. 196–203. DOI:
18. Строительная климатология СП 131.13330.2020. URL: <https://helpeng.ru/engineer/climatology/climatology-2020> (дата обращения: 05.08.2024)
19. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Кама (СКИОВО) / Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. Камское БВУ. 2014. С. 370.
20. Урбанова О.Н., Семанов Д.А., Горшкова А.Т., Каримова А.И., Бортникова Н.В. Вынос биогенных элементов с водосборов малых рек Республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2015. № 4. С. 45–52.
21. Фашевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г. Моделирование загрязнения марганцем водотоков в бассейне Нижнекамского водохранилища // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования гидрохимического института. Ростов н/Д: ФГБУ «Гидрохимический институт», 2020. Ч. 1. С. 158–162.
22. Фашевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г., Картунова К.В. Моделирование генетических составляющих водного и химического стока тяжелых металлов в бассейне Нижнекамского водохранилища // Водные ресурсы. 2023. Т. 50, № 4. С. 492–508. DOI: 10.31857/S0321059623040077
23. Федорова Е.В., Карпунина О.П., Щипачева Л.А., Беляева И.У. Оценка неконтролируемого стока биогенных веществ с водосборных территорий малых водотоков Среднего Урала, включенных в сельскохозяйственное использование // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 1. С. 68–86. DOI: 10.35567/19994508_2022_1_5
24. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. ООО «Издательство ГЕОС», 1998. 277 с. ISBN: 5-89118-054-5

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

References

1. Automated Information System for Water Bodies' State Monitoring. The Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation and the Federal Agency for Water Resources. [<https://gmvo.skniivh.ru>]
 2. Balabanova, Z.M. 1961. Hydrochemical characteristics of the Kamskoe Reservoir (1954-1955). Proceedings of the Ural branch of GOSNIORKhA, Vol. 5, pp.38-104.
 3. Balabanova, Z.M. 1959. Physicochemical regime of the Kamskoe Reservoir and factors of its formation (1956-1958). Proceedings of All-Union Conference on the Operation of the Kamskoe Reservoir, Issue 1, p.9.
 4. Bashkin, V.N. and Kudayarov, A.Yu. 1989. Nitrogen, phosphorus and potassium runoff from catchment areas of rivers draining agricultural areas. Water Resources, 6, pp.36-45.
 5. Bogomolov, A.V., Lepikhin, A.P., Lyakhin, Yu.S. and Grebeneva, M.G. 2021. Features of fluctuations in vertical structures of mineralization fields in the Kamskoe Reservoir during the summer low water period in the Berezniki area. Mining Echo, 4, pp.3-11.
 6. Voznyak, A.A., Lepikhin, A.P., Lyakhin, Yu.S. and Bogomolov, A.V. 2019. Scale and structure of diffuse pollution of the Kamskoe Reservoir. Proceedings of the VII All-Russian scientific and practical conference with international participation "Modern problems of reservoirs and their catchments". Perm, PSU, Vol. 2, pp.34-39.
 7. Datsenko, Yu.S., Motovilov, Yu.G. and Puklakov, V.V. 2005. Modeling the hydroecological regime of the Kamskoe Reservoir. Proceedings of III International Scientific and Practical Conference "Ecology of River Basins". VSU, pp.360-362.
 8. Federal State Budgetary Scientific Institution Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences. 2020. Diffuse Pollution of Water Bodies: Problems and Solutions. Moscow, RAS, p.512.
 9. Yearbook of surface water quality of the Russian Federation [Electronic resource] <https://gidrohim.com/node/44> (accessed: 08/05/2024).
 10. Keller, I.A. and Kitaev, A.B. 2011. Dynamics of biogenic substances in the Votkinskoe Reservoir. Geographical Bulletin, 3, p.27-35.
 11. Kitaev, A.B. 2020. Chemical composition of the Kamskoe Reservoir at the beginning of the 21st century. Fundamental and applied research in hydrometeorology, water management and geoecology, p.100-103.
 12. Coplan-Dix, M.S., Nazarov, G.V. and Kuznetsov, V.K. 1985. The role of mineral fertilizers in the eutrophication of land waters, Leningrad, Science, p.180.
 13. Matarzin, Yu.M., Bogoslovsky, B.B. and Matskevich, I.K. 1981. Formation of reservoirs and their impact on nature and economy. Study guide for the special course "Hydrology of reservoirs", Perm, PSU, p.96.
 14. Federal Water Resources Agency. 2016. Rules for the use of water resources of the Kamskoe and Votkinskoe Reservoirs on the Kama River. p.202.
 15. Federal Water Resources Agency. 2014. Rules for the use of water resources of the Nizhnekamskoe Reservoir on the Kama River, p.132.
 16. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of 13.12.2016 No. 552 "On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance". Registered in the Ministry of Justice of Russia on 13.01.2017 No. 45203.
 17. Selezneva, A.V. 2018. Assessment of diffuse pollution of the Saratovskoe Reservoir. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Vol. 20, 5-2, pp. 196-203.
 18. Construction climatology SP 131.13330.2020 [Electronic resource] URL: <https://helpeng.ru/engineer/climatology/climatology-2020> (date of access: 05.08.2024).
 19. Scheme of integrated use and protection of water bodies of the Kama River basin (SKIOVO). Book 1. General characteristics of the river basin. Kama BVU. 2014. p. 370.
 20. Urbanova, O.N., Semanov, D.A., Gorshkova, A.T., Karimova, A.I. and Bortnikova, N.V. 2015. Removal of biogenic elements from the catchments of small rivers of the Republic of Tatarstan. Bulletin of Udmurt University. Series "Biology. Earth Sciences", 4, pp. 45-52.
 21. Fashchevskaya, T.B. and Motovilov, Yu.G. 2020. Modeling of manganese pollution of watercourses in the Nizhnekamskoe Reservoir basin. In: Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality: Collection of articles dedicated to the 100th anniversary of the foundation of the hydrochemical institute. Rostov-on-Don: FGBU "Hydrochemical Institute", Part 1, pp. 158-162.
 22. Fashchevskaya, T.B., Motovilov, Yu.G. and Kortunova, K.V. 2023. Modeling of genetic components of water and chemical runoff of heavy metals in the Nizhnekamsk Reservoir basin. Water Resource, Vol. 50, 4, pp. 492-508. Doi 10.31857/S0321059623040077.
 23. Fedorova, E.V., Karpunina, O.P., Shchipacheva, L.A., and Belyaeva, I.U. 2022. Assessment of uncontrolled runoff of biogenic substances from the catchment areas of small watercourses of the Middle Urals included in agricultural use. Water management of Russia: problems, technologies, management, 1. pp. 68-86. doi: 10.35567/19994508_2022_1_5.
 24. Edelstein, K.K. 1998. Reservoirs of Russia: environmental problems, solutions. LLC "GEOS Publishing House", p. 277.
- Статья поступила в редакцию: 30.09.24, одобрена после рецензирования: 16.10.24, принята к опубликованию: 12.03.25.
- The article was submitted: 30 September 2024; approved after review: 16 October 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Информация об авторах

Ксения Дмитриевна Микова

кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: mikovak@yandex.ru

Виталий Германович Калинин

доктор географических наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: vgkalinin@gmail.com

Михаил Александрович Фасахов

ассистент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: komrad.fasakhov2017@yandex.ru

Аделия Александровна Шайдулина

кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: AdelinaSh89@mail.ru

Сергей Владимирович Ясинский

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН; 119017, Россия, Москва, Старомонетный переулок, 29, стр. 4.

e-mail: yasisergej@yandex.ru

Information about the authors

Ksenia D. Mikova

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Vitaliy G. Kalinin

Doctor of Geographical Sciences, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Mikhail A. Fasakhov

Assistant, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Adeliya A. Shaydulina

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Sergey V. Yasinsky

Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences; 29, bld.4, Staromonetny pereulok, Moscow, 119017, Russia

Вклад авторов

Микова К.Д. – идея статьи, выполнение численных экспериментов, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка таблиц и иллюстраций.

Калинин В.Г. – научное редактирование текста, написание отдельных частей статьи.

Фасахов М.А. – выполнение численных экспериментов, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка иллюстраций.

Шайдулина А.А. – научное редактирование текста, выполнение численных экспериментов, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка иллюстраций.

Ясинский С.В. – научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Ksenia D. Mikova – idea of the article; numerical experiments; material processing; writing of individual parts of the article; preparation of tables and illustrations.

Vitaliy G. Kalinin – scientific editing; writing of individual parts of the article.

Mikhail A. Fasakhov – numerical experiments; material processing; writing of individual parts of the article; preparation of illustrations.

Adeliya A. Shaydulina – scientific editing; numerical experiments; material processing; writing of individual parts of the article; preparation of illustrations.

Sergey V. Yasinsky – scientific editing.

The authors declare no conflict of interest.