



УДК 556.551

## ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД В ВОДОХРАНИЛИЩАХ КАМСКОГО КАСКАДА

**Фасахов Михаил Александрович**, ассистент кафедры гидрологии и ОВР  
Пермский государственный национальный исследовательский университет  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

**Микова Ксения Дмитриевна**, к.г.н., доцент кафедры гидрологии и ОВР  
Пермский государственный национальный исследовательский университет  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

**Шайдулина Аделия Александровна**, старший преподаватель кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов  
Пермский государственный национальный исследовательский университет  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

**Калинин Виталий Германович**, д.г.н., доцент кафедры гидрологии и ОВР  
Пермский государственный национальный исследовательский университет  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

**Ясинский Сергей Владимирович**, д.г.н., в.н.с. лаборатории гидрологии  
Институт географии Российской академии наук  
117312, г. Москва, ул. Вавилова, 37

---

*Работа выполнена 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».*

---

*Аннотация. Выполнен анализ изменений среднегодовых концентраций биогенных элементов, превышений ПДКр.х. и их коэффициентов вариации на камских водохранилищах за многолетний период. Выявлены закономерности изменений биогенных элементов в водах камских водохранилищ. Превышения ПДКр.х. наблюдаются только по железу. Наибольшая изменчивость биогенных элементов отмечается на Воткинском водохранилище, наименьшая на Нижнекамском водохранилище.*

*Ключевые слова: камские водохранилища, концентрация биогенных веществ, превышения ПДКр.х.*

## Введение

Гидрохимический режим камских водохранилищ формируется под воздействием природных и антропогенных факторов – сбросов промышленных предприятий, сельского и жилищно-коммунального хозяйства. При снеготаянии и выпадении сильных дождей с водосборов в водохранилища стекают потоки воды, насыщенные взвесью и разными биогенными веществами. Соединения азота, фосфора и других биогенных элементов оказывают влияние на эвтрофирование водохранилищ [1]. Гидрологический режим (водный режим, термический режим, ледовый режим и т.д.) определяет процессы, происходящие в водных объектах и как следствие влияет на изменение химических показателей. Целью данной работы является анализ изменения средних за многолетний период характеристик биогенных элементов на камских водохранилищах.

## Исходные данные и методы исследования

В качестве исходных данных для анализа изменения концентраций биогенных веществ (мг/л) за многолетний период в водохранилищах камского каскада использованы материалы наблюдений Камского БВУ по восьми показателям: азот аммонийный, азот нитритов, азот минеральный, аммоний-ион, нитраты, нитриты, фосфаты и железо общее. На Камском и Воткинском водохранилищах анализ выполнен за период 2003–2022 гг., на Нижнекамском водохранилище – за 2010–2022 гг. (без учета створов на р. Белой). Для оценки превышения биогенных элементов в воде использованы предельно допустимые концентрации веществ в водоеме, используемые для рыбохозяйственных целей (ПДКр.х.). ПДКр.х. – это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых [2]. Значение ПДКр.х. взяты из утвержденного норматива по качеству воды водных объектов рыбохозяйственного значения [3].

Изменчивость концентраций биогенных веществ (мг/л) за многолетний период от года к году оценивалась с помощью коэффициента вариации ( $C_v$ ) [4]. Расчет годового стока биогенных элементов в тоннах (т) выполнялся суммированием величин стока биогенных элементов в тоннах по сезонам.

## Результаты

Анализ среднемноголетних величин *азота аммонийного* показал, что на Камском и Воткинском водохранилищах средние концентрации одинаковы и составляют 0,17 мг/л, на Нижнекамском водохранилище 0,12 мг/л (табл. 1). Превышений ПДКр.х по данному показателю на камских водохранилищах нет (0,30-0,43 ПДКр.х). Средний за многолетний период годовой сток азота аммонийного составил на Камском водохранилище 498 т/год, на Воткинском водохранилище 572 т/год, на Нижнекамском водохранилище 145 т/год. Изменчивость концентраций азота аммонийного высокая ( $C_v=0,94-1,01$ ).

*Азот нитритов* на Камском и Воткинском водохранилищах за многолетний период имеет одинаковые концентрации 0,012 мг/л, что составляет 0,60 ПДКр.х. Многолетняя изменчивость данного показателя одна из самых высоких  $C_v=0,89-0,96$ . Одним из источников поступления нитритного азота является смыв с территории сельскохозяйственных угодий и животноводческих комплексов. Также большое значение в загрязнение воды вносят промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды.

Содержание *ионов аммония* в водах исследуемых водохранилищ имеет схожие концентрации (0,32–0,33 мг/л) и составляет 0,64–0,66 ПДКр.х. Основными источниками поступления ионов аммония в водные объекты являются животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий, а также сточные воды предприятий пищевой, лесохимической и химической промышленности. Изменчивость данного элемента на Камском и Воткинском водохранилищах небольшая  $C_v=0,62-0,66$ . На Нижнекамском водохранилище изменчивость аммоний-иона одна из самых низких ( $C_v=0,17$ ) по всем рассматриваемым биогенным элементам, что говорит о стабильном поступлении данного вещества в водохранилище.

Содержание *нитратов и нитритов* увеличивается в 2–4 раза от Камского водохранилища ( $\text{NO}_3=0,78$  мг/л,  $\text{NO}_2=0,008$  мг/л) к Воткинскому водохранилищу ( $\text{NO}_3=1,03$  мг/л,  $\text{NO}_2=0,010$  мг/л) и наибольших концентраций достигает на Нижнекамском водохранилище ( $\text{NO}_3=1,76$  мг/л,  $\text{NO}_2=0,028$  мг/л). Превышений ПДКр.х. по данным показателям нет. Более высокие концентрации нитратов и нитритов в водах Нижнекамского водохранилища объясняются увеличением площадей сельскохозяйственной угодий, где распаханность водосбора достигает 57%. В результате снеготаяния и дождевых паводков азотсодержащие соединения вымываются из почв и поступают в водные объекты. Изменчивость нитритов и нитратов в 2–7 раз выше на Камском и Воткинском водохранилищах, чем на Нижнекамском водохранилище (табл. 2). Это свидетельствует о стабильном поступлении нитратов и ионов аммония в Нижнекамское водохранилище за многолетний период.

Таблица 1

**Средние величины концентраций биогенных веществ (мг/л), превышений ПДКр.х. ( $C_i/\text{ПДКр.х.}$ ), годового стока биогенных элементов (тонны) и коэффициентов вариации ( $C_v$ ) за многолетний период**

Показатели	ПДК	мг/л			$C_i/\text{ПДКр.х.}$			$C_v$		
		К	В	Н	К	В	Н	К	В	Н
Азот аммонийный	0,4	0,17	0,17	0,12	0,43	0,43	0,30	0,94	1,01	1,01
Азот нитритов	0,02	0,012	0,012	-	0,60	0,60	-	0,89	0,96	
Азот минеральный	-	0,16	0,18	-	-	-	-	1,05	0,13	
Аммоний-ион	0,5	0,32	0,33	0,33	0,64	0,66	0,66	0,62	0,66	0,17
Нитраты	40	0,78	1,03	1,76	0,020	0,026	0,044	1,66	1,82	0,25
Нитриты	0,08	0,008	0,01	0,028	0,10	0,13	0,35	0,65	0,83	0,36
Фосфаты	0,2	0,020	0,020	0,020	0,10	0,10	0,10	0,44	0,50	0,46
Железо общее	0,1	0,34	0,27	0,13	<b>3,4</b>	<b>2,7</b>	<b>1,3</b>	0,67	0,61	0,30

*Примечание:* К – Камское водохранилище, В – Воткинское водохранилище, Н – Нижнекамское водохранилище. **Жирным шрифтом** выделены превышения ПДКр.х.

Концентрации *фосфатов* (0,02 мг/л) практически не отличаются на разных водохранилищах каскада, превышений ПДКр.х. нет. К естественным источникам поступления фосфатов относят процессы выветривания и растворения пород, а также процессы биологической переработки остатков животных и растительных организмов. Антропогенные источники поступления фосфатов – это сельское хозяйство (смыв фосфорсодержащих удобрений с полей), хозяйственно-бытовые стоки (поступление синтетических моющих средств) и другие сточные воды предприятий. Изменчивость годового стока фосфатов небольшая  $C_v=0,44–0,50$ .

Концентрации *железа общего* на камских водохранилищах изменяются в пределах 0,13–0,34 мг/л, что превышает ПДКр.х. в 1,3–3,4 раза. В изменении концентраций и коэффициентов вариации прослеживается тенденция к уменьшению от Камского водохранилища к Нижнекамскому. В целом концентрация железа уменьшается почти в 3 раза, коэффициенты вариации в 2 раза. Возможно, данная тенденция снижения концентраций и коэффициентов вариации железа говорит о том, что главный источник этого элемента находится на водосборе Камского водохранилища. На нижерасположенных водохранилищах его влияние уменьшается.

### **Выводы**

Концентрации некоторых биогенных веществ (азот нитритный, аммоний-ион, фосфаты) практически не изменяются во всех водохранилищах Камского каскада. Наибольшие концентрации железа общего (0,34 мг/л) наблюдаются на Камском водохранилище, азотов и аммоний-иона на Воткинском водохранилище. Нитраты и

нитриты имеют наибольшие концентрации ( $\text{NO}_3=1,76$  мг/л,  $\text{NO}_2=0,028$  мг/л) на Нижнекамском водохранилище, где более половины площади водосбора (57%) занято сельскохозяйственными угодьями. На камских водохранилищах превышений ПДКр.х. не прослеживается по всем азотсодержащим соединениям и фосфатам.

Анализ концентраций нитратов и нитритов по длине Камского каскада показал их увеличение в 2–4 раза от Камского водохранилища к Нижнекамскому водохранилищу. Более высокие концентрации нитратов и нитритов в водах Нижнекамского водохранилища объясняются увеличением площадей сельскохозяйственной угодий. Концентрации железа общего на камских водохранилищах превышают ПДКр.х. в 1,3–3,4 раза. Наибольшие значения концентрации железа наблюдаются на Камском водохранилище из-за повышенного естественного фона на Верхней Каме и наличия обширных заболоченных земель. На ниже расположенных водохранилищах отмечается снижение концентрации железа за счет разбавления водами впадающих притоков.

По длине водохранилищ Камского каскада выявлена следующая закономерность: наибольшая изменчивость биогенных элементов отмечается на Воткинском водохранилище, имеющем высокую проточность и принимающем большое количество сточных вод г. Перми, наименьшая на Нижнекамском водохранилище. Наименьшая изменчивость у фосфатов ( $C_v=0,44-0,50$ ), наибольшая у нитратов ( $C_v=0,25-1,82$ ).

### Список литературы:

1. Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыкова А.Н. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы, 2020, том 47, № 5, с. 630–648.
2. Пименова Е.В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов / Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, – 2011, – 138 с.
3. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N552"Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 N 45203), Москва. – 2018 г.
4. Свод правил (СП) 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Минстрой России, – 2023, – с. 7.

## LONG-TERM CHANGES IN CONCENTRATIONS OF BIOGENIC SUBSTANCE IN THE KAMA CASCADE' RESERVOIRS

Mikhail A. Fasakhov, Ksenia D. Mikova, Adelia A. Shaydulina, Vitaly G. Kalinin,  
Sergey V. Yasinsky

An analysis of changes in average annual concentrations of biogenic substances, excesses of maximum permissible concentrations for fisheries ( $\text{MPC}_f$ ) and their coefficients of variation in reservoirs of the Kama Cascade over a long-term period was carried out. Patterns of changes in biogenic substances have been identified. Excess of  $\text{MPC}_f$  only in total iron were detected. The greatest variability of biogenic substances is observed in the Votkinskoe Reservoir, the smallest in the Nizhnekamskoe Reservoir.

Keywords: Kama Cascade' Reservoirs, concentrations of biogenic substances, excess of  $\text{MPC}_f$ .