

## ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДОХРАНИЛИЩ НИЖНЕЙ ВОЛГИ И РЕКИ УРАЛ (НА ПРИМЕРЕ САРАТОВСКОГО, ВОЛГОГРАДСКОГО, ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ)

**Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, И.Г. Филимонова,  
Л.В. Гришина, Е.Г. Кузина, О.В. Шашуловская**

E-mail: shash.elena2010@yandex.ru

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Саратовский филиал, г. Саратов, Россия*

**АННОТАЦИЯ:** Рассмотрена многолетняя динамика органического вещества, биогенных и токсичных элементов в водохранилищах Нижней Волги (Саратовское и Волгоградское) и реки Урал (Ириклинское водохранилище), отличающихся по географическому расположению, морфометрическим и гидрологическим характеристикам. В уральском водохранилище, в отличие от нижеволжских водоемов, зарегистрированы более низкие концентрации минерального азота, кремния, а также показателей, характеризующих аллохтонное органическое вещество, и более высокий уровень общего и легкоокисляемого органического вещества. Отмечены отличия в сезонной и пространственной динамике ингредиентов. Несмотря на различия гидрохимического режима исследуемых водохранилищ, выявлена синхронность колебаний основных показателей, характеризующих трофический статус водной экосистемы (общее, легкоокисляемое и аллохтонное органическое вещество, нитратный азот), а также величин водного стока через соответствующие гидроузлы. Исследования структуры многомерного массива общих гидрохимических показателей методом главных компонент позволили определить универсальность происходящих в экосистемах водохранилищ процессов, основой которых является поверхностный сток и сезонные изменения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** биогенные и токсичные элементы, органическое вещество, годовой водный сток, Волгоградское водохранилище, Саратовское водохранилище, Ириклинское водохранилище.

Реки Волга и Урал являются наиболее крупными водотоками России, в бассейнах которых расположены населенные пункты с высокой концентрацией городского населения, интенсивно развитыми промышленными и сельскохозяйственными предприятиями. В результате гидростроительства

---

© Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г., Гришина Л.В., Кузина Е.Г., Шашуловская О.В., 2019

речной сток Волги практически полностью трансформирован в систему взаимосвязанных водохранилищ, р. Урал зарегулирована только в верхнем, наиболее водообеспеченном участке. Замедленный водообмен приводит к изменению качественного состава воды под воздействием гидродинамических, гидрохимических и гидробиологических факторов. Поэтому определение закономерностей формирования количественного состава зарегулированных вод, оценка их качества, а также прогнозирование направления и темпов гидрохимических процессов имеет важное значение.

Саратовское и Волгоградское водохранилища являются замыкающими водоемами комплексного назначения в огромном Волжско-Камском каскаде и аккумулируют большой спектр химических веществ природного и антропогенного происхождения. Наиболее важное значение по объему и хозяйственной деятельности в бассейне Урала имеет Ириклинское водохранилище, созданное в верхнем течении реки. Уральский экономический регион отличается значительным разнообразием минерально-сырьевых и топливных ресурсов, интенсивная разработка которых существенно увеличивает загрязнение бассейна р. Урал. В настоящее время Ириклинское водохранилище является самым крупным искусственным водоемом комплексного назначения в Южном Зауралье.

Гидрохимической основой биологической продуктивности водохранилищ являются биогенные элементы и органическое вещество (ОВ), концентрации которых подвержены существенным пространственно-временным изменениям. Динамика этих компонентов тесно связана с жизнедеятельностью организмов различного трофического уровня и обусловлена многими природными факторами. Компоненты солевого состава (главные ионы), наоборот, отличаются стабильностью, их содержание во многом определяется особенностями геохимического строения территории водосборного бассейна. Вещества антропогенного происхождения имеют специфические особенности поведения в водоеме, зависящие от формы состояния и степени связи с биологическими процессами.

Целью настоящего исследования является сравнительная оценка многолетней динамики наиболее изменчивых компонентов гидрохимического состава – биогенных элементов, органического вещества, соединений меди и свинца – в Саратовском, Волгоградском и Ириклинском водохранилищах, отличающихся по географическому расположению, морфометрическим и гидрологическим характеристикам.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Гидрохимические работы выполняли на Саратовском, Волгоградском и Ириклинском водохранилищах в 2009–2016 гг. Рассматриваемый временной период включал экстремальные по климатическим и гидрологическим

характеристикам годы. В 2010 г. в Волжском бассейне регистрировались аномально высокие летние температуры, практически полное отсутствие осадков и, соответственно, снижение водного стока, который достиг минимальных величин к 2011 г. как на Нижней Волге, так и на Урале. В 2013 г., наоборот, наблюдались обильные дождевые паводки, особенно существенные на Южном Урале. Они привели к аномальному распределению стока в Ириклинском водохранилище: максимальные величины были зафиксированы не в апреле, как обычно, а в августе-сентябре. Годовой сток в Ириклинском водохранилище в 2013 г. был выше, чем в 2010 г., в 4,5 раза.

Отбор проб проводили на русловых (поверхностный и придонный горизонты) и литоральных участках водохранилищ с учетом вегетационного сезона по стандартным мониторинговым разрезам (рис. 1). Отобрано 454 пробы на Саратовском, 706 – на Волгоградском и 435 – на Ириклинском водохранилищах.

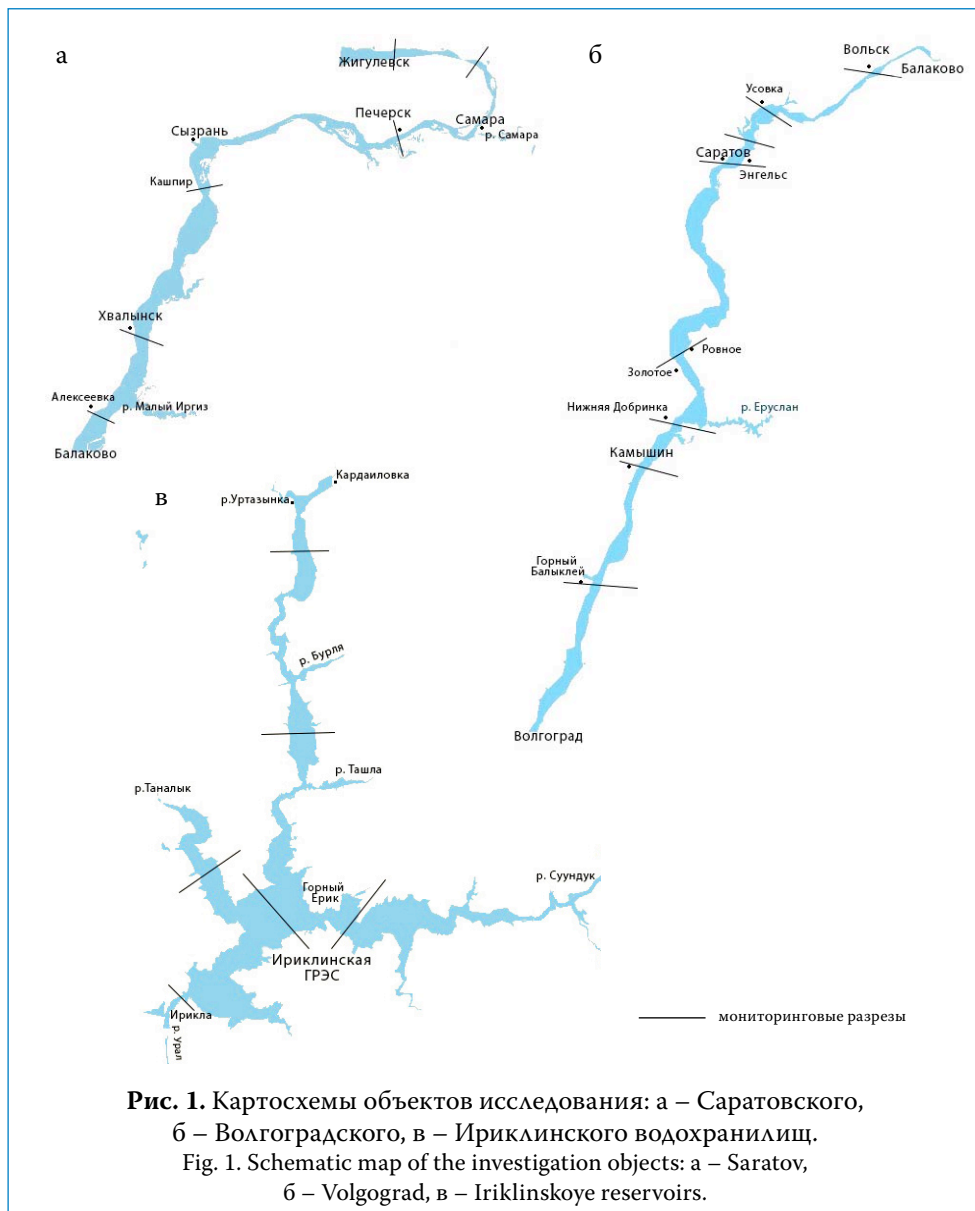
Динамику органического вещества в воде водохранилищ оценивали по показателям цветности, перманганатной (ПО) и бихроматной (ХПК) окисляемости, БПК<sub>5</sub>. Анализировали содержание трех форм минерального азота, минерального фосфора, растворенного железа, кремния, меди и свинца. Минерализацию оценивали расчетным методом как сумму показателей главных ионов (на основании определения общей жесткости,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Обработку гидрохимического материала осуществляли по общепринятым методикам фотометрического, титриметрического анализов и инверсионной вольтамперометрии [1]. Многолетнюю динамику показателей оценивали по их среднесезонным концентрациям. Объем годового водного стока рассчитывали по данным сброса через Саратовский, Волжский и Ириклинский гидроузлы [2, 3].

Статистическую обработку данных проводили с использованием соответствующих процедур программной среды Microsoft Excel, а также специализированного пакета программы Statgraphics. Приведенные коэффициенты корреляции ( $r$ ) и детерминации ( $R^2$ ) рассчитаны для уровня значимости ( $p$ ) < 0,05.

### **Характеристика района исследования**

Саратовское водохранилище, образованное в 1967 г., по конфигурации и гидрологическому режиму относят к речному типу водоемов с высокой проточностью, и, соответственно, высоким коэффициентом водообмена – 18,9 (табл. 1). В нем нет сработки объемов воды, характерных для накопительных водохранилищ, например, Куйбышевского или Рыбинского. Вода, сбрасываемая из Куйбышевского водохранилища, транзитом проходит через Саратовское. Резких колебаний уровня, за исключением весеннего периода, не наблюдается.

Волгоградское водохранилище (заполнено в 1960 г.) большей частью располагается в степной зоне. Водоем относится к речному типу, характеризуется средней проточностью с коэффициентом водного обмена 7,5 (табл. 1). В период паводка в апреле-мае наблюдается резкий подъем уровня воды за счет сброса из расположенных выше водохранилищ.



**Таблица 1.** Сравнительные морфометрические и гидрологические характеристики Саратовского, Волгоградского и Ириклинского водохранилищ  
Table 1. Comparative morphometric and hydrological characteristics of the Saratov, Volgograd and Iriklienskoye reservoirs

Показатель	Водохранилище		
	Саратовское	Волгоградское	Ириклинское
Протяженность, км	340 <sup>1</sup>	524 <sup>3</sup>	73 <sup>5</sup>
Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup>	1950 <sup>1</sup>	3117–3500 <sup>3</sup>	260 <sup>5</sup>
Полный объем, км <sup>3</sup>	13,0 <sup>1</sup>	31,4–33,5 <sup>3</sup>	3,25 <sup>5</sup>
Водообмен, раз в год	18,9 <sup>1</sup>	7,5 <sup>3</sup>	0,7–1,0 <sup>5</sup>
Средняя глубина, м	7 <sup>1</sup>	10 <sup>3</sup>	12,5 <sup>5</sup>
Максимальная глубина, м	33 <sup>1</sup>	41 <sup>3</sup>	36 <sup>5</sup>
Площадь мелководий с глубиной до 5 м, % от общей площади	46,4 <sup>2</sup>	47 <sup>3</sup>	26,1 <sup>6</sup>
Площадь зеркала водохранилища с глубиной >15 м, % от общей площади	11,2 <sup>7</sup>	26 <sup>4</sup>	37,5 <sup>6</sup>
Средняя температура воды за июль 2009–2016 гг., °С	21,3	23,3	20,8

Примечание: <sup>1</sup> – по [4]; <sup>2</sup> – по [5]; <sup>3</sup> – по [6]; <sup>4</sup> – по [7]; <sup>5</sup> – по [8]; <sup>6</sup> – по [9]; <sup>7</sup> – по [10].

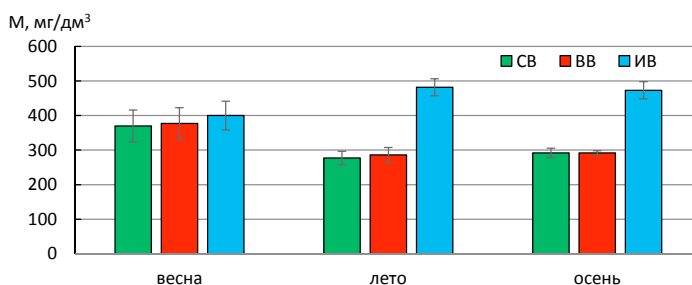
Особенностью водохранилищ Нижней Волги является слабо развитая сеть боковой приточности. Среднегодовой объем воды из основных притоков Волгоградского водохранилища составляет менее 1 % от общего поступления, Саратовского – 2,4 % [6].

Глубоководное Ириклинское водохранилище расположено в районе Уральского горного сооружения, геоморфология которого создана тектоническими процессами. Для водохранилища характерен слабый водообмен, который происходит один раз в два года, как в озерах слабой проточности (табл. 1). Наибольшие расходы воды наблюдаются в период весеннего половодья в апреле-мае и связаны со снеговым питанием. Боковая приточность (около 8 %) играет заметную роль только весной [11].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вода исследованных водохранилищ по общепринятой классификации [12] среднеминерализованная, умеренной жесткости, гидрокарбонатного класса. В Ириклинском водохранилище преобладающими катионами являются, главным образом, магний или кальций, в нижеволжских водоемах – кальций. Реакция среды нейтральная или слабощелочная.

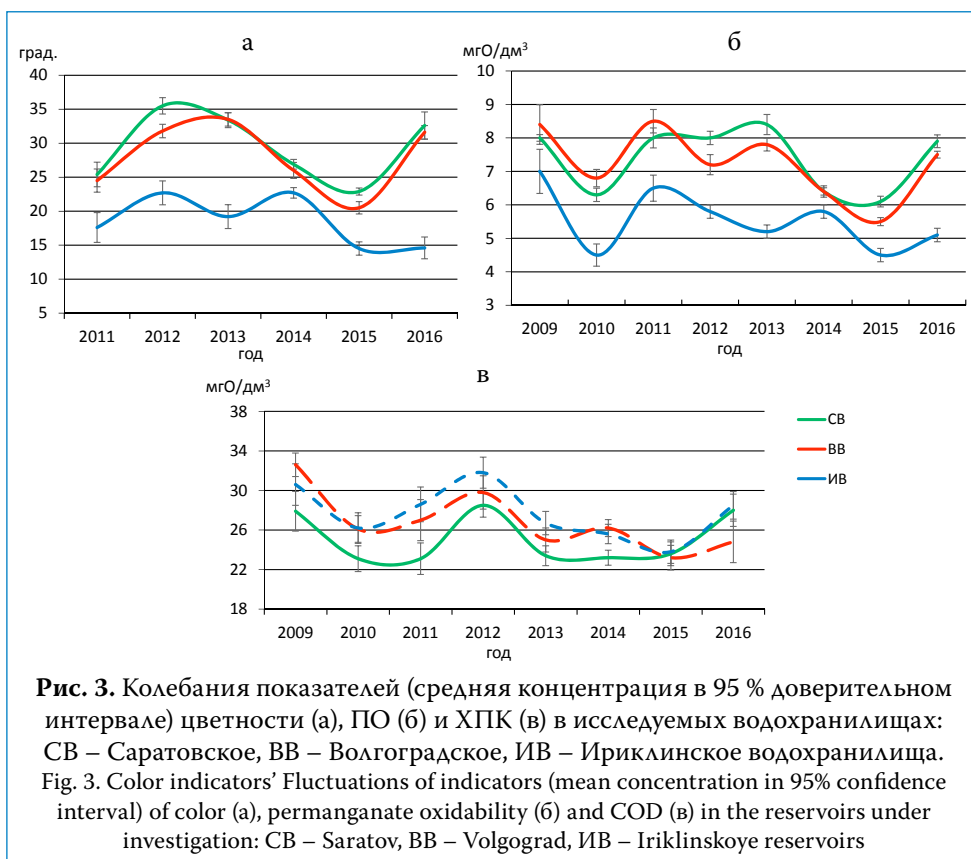
Формирование режима главных ионов исследуемых водохранилищ зависит от состава питающих вод. Степень влияния и взаимоотношения этих факторов во времени обуславливают изменение минерализации воды и связанного с ней режима главных ионов. В волжских водохранилищах максимальные величины основных ионов регистрируются весной в результате присутствия в водохранилищах трансформированных зимних вод (рис. 2), в которых велика доля грунтового питания. В Ириклинском водохранилище весной минерализация и, соответственно, содержание главных ионов минимальное за счет наполнения паводковыми водами, а в октябре-ноябре величина минерализации максимальна. В водохранилищах Нижней Волги распределение основных ионов по продольной оси достаточно равномерно, в то время как в Ириклинском водохранилище, как правило, в верховьях величины минерализации, жесткости, содержание хлоридов и сульфатов в 1,5–2 раза выше, чем на остальной части.



**Рис. 2.** Минерализация воды (М) (средняя концентрация в 95 % доверительном интервале) в Саратовском, Волгоградском и Ириклинском водохранилищах в 2009–2016 гг.: СВ – Саратовское, ВВ – Волгоградское, ИВ – Ириклинское водохранилища.

Fig. 2. Water mineralization (M) (mean concentration in 95% confidence interval) in the Saratov, Volgograd and Iriklikskoye reservoirs in 2009-2016: СВ – Saratov, ВВ – Volgograd, ИВ – Iriklikskoye reservoirs.

Показатель цветности, характеризующий содержание поступающих в водоем с водосбора окрашенных гуминовых веществ, колебался в исследуемых водохранилищах в одних пределах: от 8,8 до 43 градусов цветности, при этом средние концентрации этого показателя в нижневолжских водоемах были значительно выше (рис. 3а). В Ириклинском водохранилище наибольшие значения цветности регистрировались весной, в период максимального влияния поверхностного стока, к осени величины этого показателя снижались. В 2013 г. (год аномального распределения стока) максимальные значения показателя, вследствие обильных дождевых паводков, отмечены в осенний период. В волжских водоемах сезонная динамика цветности выражена только в отдельные годы.



Величина ПО также характеризует преимущественно содержание окрашенных гуминовых веществ, в связи с чем статистически связана с цветностью. Коэффициент корреляции между их средними значениями в водохранилищах за исследуемый период колебался в пределах 0,54–0,73. В Ириклинском водохранилище в отдельные сезоны коэффициент корреляции между этими показателями достигал 0,80–0,90. Среднесезонные значения ПО, как и цветности, в Ириклинском водохранилище более низкие, чем в волжских водоемах (рис. 3б). Изменения ПО связаны между собой в трех водохранилищах: коэффициент корреляции колебаний показателя между Ириклинским и Волгоградским водохранилищами составил 0,72, Саратовским и Волгоградским – 0,85.

За исследуемый период в трех водохранилищах наблюдалась синхронность изменений средней концентрации общего ОВ, характеризуемого величиной ХПК, причем в Ириклинском колебания показателя происходили на более высоком уровне (рис. 3в). Содержание автохтонной органики,



входящей в состав общего ОВ, тесным образом связано с биомассой фито-планктона, среднесезонные значения которой в уральском водохранилище в 2–3 раза выше, чем в нижеволжских водоемах [13]. Коэффициент корреляции колебаний показателя ХПК в воде Волгоградского и Ириклинского водохранилищ составил 0,82, между Саратовским и Ириклинским – 0,79.

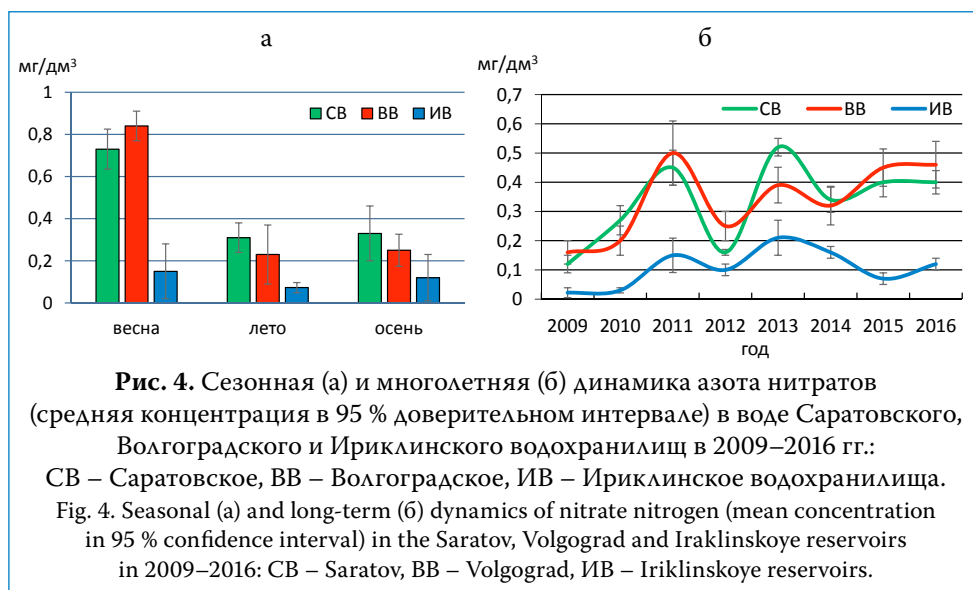
В водохранилищах Нижней Волги сезонные изменения величины ХПК, как и ПО, имеют два максимума: весной и в конце лета. В Ириклинском водохранилище сезонная динамика показателя ХПК носила более сложный характер. В отдельные годы доминирующим источником общего ОВ мог быть весенний паводковый сток, в другие – биопродукционные процессы или дождевые паводки.

В нижеволжских водохранилищах по продольной оси распределение общего ОВ достаточно равномерно, в Ириклинском – разброс значений ХПК существенен, максимальные значения показателя, как правило, регистрировали в верховьях.

Предел колебания величины БПК<sub>5</sub>, характеризующей легкоокисляемое ОВ, в исследуемых водохранилищах составил 0,2–6,6 мг/дм<sup>3</sup>, причем для Ириклинского водохранилища, как более трофного, отмечены более высокие значения этого показателя. Минимальные значения БПК<sub>5</sub> регистрировали при низком уровне биопродукционных процессов ранней осенью и поздней весной, максимальные – в летние месяцы как результат образования автохтонной органики. В водохранилищах отмечено увеличение величин БПК<sub>5</sub> за рассматриваемый период, однако статистическая значимость доказана только для Ириклинского водохранилища ( $R^2 = 0,79$ ). Изменения среднесезонной концентрации легкоокисляемого ОВ происходили синхронно, но достоверная корреляционная связь установлена только между Волгоградским и Ириклинским водохранилищами ( $r = 0,77$ ).

Доминирующей формой минерального азота ( $N_{\text{мин}}$ ) в волжских водохранилищах является азот нитратный, в Ириклинском – аммонийный (табл. 2). Пределы колебания концентрации аммонийного азота по сравнению с нитратным в нижеволжских водоемах как в многолетнем, так и сезонном аспектах, более узкие. Содержание нитратов в волжских водохранилищах, как правило, имеет четкую сезонную динамику (рис. 4а). Максимальные значения зафиксированы в весенний период за счет присутствия трансформированных зимних вод, а также влияния терригенного стока с паводком. Летом наблюдалось существенное снижение концентрации нитратного азота вследствие его потребления гидробионтами, осенью содержание нитратов возрастало. В Ириклинском водохранилище отмечена аналогичная сезонная динамика нитратного азота, но количественные значения показателя значительно ниже (см. рис. 4а).





Колебания средней концентрации нитратов в водохранилищах в рассматриваемый период происходят синхронно (рис. 4 б): коэффициент корреляции между их содержанием в Саратовском и Волгоградском водохранилищах составляет 0,84, в Саратовском и Ириклинском – 0,74.

Для исследованных водохранилищ характерно низкое содержание нитритов в основном от  $< 0,006$  до  $0,008$  мгN/дм<sup>3</sup>, свидетельствующее о свободном протекании процесса нитрификации. Тем не менее, в отдельные периоды зарегистрировано повышение концентраций. В Саратовском водохранилище в 2010–2013 гг. количество проб с превышением норматива составило 7–68 %, в Волгоградском 10–21 %. В Ириклинском – превышение ПДК по нитритам отмечено в 17 % проб в 2011 г. только в верховьях (плесы Чапаевский и Софинский). Зарегистрированное нарушение скорости процесса нитрификации в исследуемых водоемах может быть связано с увеличением их токсического загрязнения.

Концентрация минерального фосфора ( $P_{\text{мин}}$ ) в исследуемых водохранилищах колебалась в пределах:  $< 0,016$ – $0,17$  мг/дм<sup>3</sup>. Как отмечалось в предыдущих исследованиях [14], в водохранилищах Нижней Волги в многоводные годы происходит снижение содержания  $P_{\text{мин}}$ , при уменьшении водного стока концентрация фосфатов возрастает, но достоверная отрицательная связь между этими показателями не установлена. Выявленная тенденция позволяет предположить, что доминирующим источником генезиса фосфора для двух водохранилищ являются внутриводоемные процессы.

**Таблица 2.** Содержание биогенных элементов в воде Саратовского, Волгоградского, Ириклинского водохранилищ в 2009–2016 гг.  
Table 2. Biogenic elements content in the Saratov, Volgograd, and Iriklynskoye reservoirs in 2009–2016

Водные объекты	Период наблюдения	Показатели, мг/дм <sup>3</sup>				
		Азот аммония	Азот нитратов	Фосфор мин.	Кремний	Железо
Саратовское водохранилище	2009 г.	0,12 – 0,40	0,04 – 0,31	0,037 – 0,099	2,4 – 3,5	0,13 – 0,23
		0,28 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,053 ± 0,003	2,9 ± 0,05	0,18 ± 0,00
	2010 г.	0,13 – 0,72	0,02 – 0,55	0,016 – 0,095	2,4 – 6,5	0,12 – 0,34
		0,26 ± 0,02	0,27 ± 0,03	0,051 ± 0,004	3,7 ± 0,2	0,19 ± 0,01
	2011 г.	0,06 – 0,35	0,17 – 0,91	0,019 – 0,082	2,6 – 4,7	0,12 – 0,34
		0,21 ± 0,01	0,45 ± 0,03	0,032 ± 0,002	3,5 ± 0,1	0,24 ± 0,01
	2012 г.	0,16 – 0,38	< 0,02 – 0,70	0,022 – 0,060	2,3 – 4,6	0,15 – 0,60
		0,25 ± 0,01	0,16 ± 0,02	0,036 ± 0,001	3,3 ± 0,1	0,24 ± 0,01
	2013 г.	0,06 – 0,60	0,08 – 3,07	0,026 – 0,098	2,3 – 4,7	0,12 – 0,44
		0,23 ± 0,02	0,52 ± 0,07	0,056 ± 0,002	3,3 ± 0,1	0,25 ± 0,01
	2014 г.	< 0,04 – 0,33	0,02 – 0,77	< 0,016 – 0,078	1,4 – 4,4	0,14 – 0,89
		0,17 ± 0,01	0,34 ± 0,02	0,037 ± 0,001	2,9 ± 0,1	0,22 ± 0,01
	2015 г.	< 0,04 – 0,29	0,10 – 1,13	0,019 – 0,10	1,7 – 5,7	< 0,10 – 0,27
		0,09 ± 0,01	0,40 ± 0,03	0,062 ± 0,003	3,2 ± 0,1	0,17 ± 0,00
	2016 г.	0,07 – 0,72	0,08 – 0,87	0,022 – 0,092	2,6 – 5,3	0,14 – 0,49
		0,22 ± 0,02	0,40 ± 0,02	0,052 ± 0,002	3,5 ± 0,1	0,28 ± 0,01
Волгоградское водохранилище	2009 г.	0,09 – 0,44	< 0,02 – 0,36	< 0,016 – 0,10	2,2 – 3,2	0,12 – 0,35
		0,22 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,058 ± 0,005	2,8 ± 0,04	0,19 ± 0,01
	2010 г.	0,11 – 0,46	< 0,02 – 0,98	0,019 – 0,091	2,2 – 8,3	0,11 – 0,39
		0,24 ± 0,01	0,20 ± 0,03	0,054 ± 0,002	3,7 ± 0,1	0,19 ± 0,01
	2011 г.	0,04 – 0,44	0,02 – 1,33	< 0,016 – 0,072	1,6 – 4,9	< 0,10 – 0,33
		0,17 ± 0,01	0,50 ± 0,05	0,038 ± 0,002	2,9 ± 0,1	0,16 ± 0,00
	2012 г.	0,07 – 1,12	< 0,02 – 1,10	< 0,016 – 0,084	2,1 – 5,0	0,12 – 0,43
		0,29 ± 0,01	0,25 ± 0,03	0,041 ± 0,002	3,4 ± 0,1	0,22 ± 0,01
	2013 г.	0,07 – 0,49	0,02 – 1,07	0,021 – 0,096	2,6 – 4,8	0,13 – 0,48
		0,23 ± 0,01	0,39 ± 0,03	0,046 ± 0,002	3,6 ± 0,1	0,26 ± 0,01
	2014 г.	< 0,04 – 0,50	< 0,02 – 1,83	< 0,016 – 0,10	1,7 – 5,4	< 0,10 – 0,33
		0,18 ± 0,01	0,32 ± 0,03	0,037 ± 0,002	3,4 ± 0,1	0,19 ± 0,01
	2015 г.	< 0,04 – 0,46	< 0,02 – 1,80	< 0,016 – 0,14	1,6 – 4,5	< 0,10 – 0,21
		0,11 ± 0,01	0,45 ± 0,04	0,055 ± 0,004	3,1 ± 0,1	0,14 ± 0,00
	2016 г.	0,08 – 0,57	< 0,02 – 1,91	0,031 – 0,12	2,7 – 4,8	0,10 – 0,32
		0,18 ± 0,01	0,46 ± 0,04	0,070 ± 0,002	3,6 ± 0,1	0,20 ± 0,01

Таблица 2. (продолжение)

Водные объекты	Период наблюдения	Показатели, мг/дм <sup>3</sup>				
		Азот аммония	Азот нитратов	Фосфор мин.	Кремний	Железо
Ириклинское водохранилище	2009 г.	$\frac{0,07 - 0,28}{0,14 \pm 0,03}$	<0,02-0,10	$\frac{< 0,016 - 0,082}{0,051 \pm 0,008}$	$\frac{1,6 - 2,3}{2,0 \pm 0,1}$	$\frac{0,17 - 0,27}{0,22 \pm 0,01}$
	2010 г.	$\frac{0,08 - 0,40}{0,20 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,02 - 0,09}{0,03 \pm 0,00}$	$\frac{< 0,016 - 0,091}{0,039 \pm 0,003}$	$\frac{1,5 - 5,0}{2,8 \pm 0,2}$	$\frac{< 0,10 - 0,27}{0,12 \pm 0,01}$
	2011 г.	$\frac{< 0,04 - 0,91}{0,21 \pm 0,02}$	$\frac{< 0,02 - 0,95}{0,15 \pm 0,03}$	$\frac{< 0,016 - 0,14}{0,045 \pm 0,003}$	$\frac{1,0 - 5,0}{2,5 \pm 0,1}$	$\frac{< 0,10 - 0,57}{0,16 \pm 0,02}$
	2012 г.	$\frac{0,12 - 0,33}{0,21 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,02 - 0,49}{0,10 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,016 - 0,11}{0,033 \pm 0,004}$	$\frac{1,6 - 5,2}{3,0 \pm 0,1}$	$\frac{0,11 - 0,52}{0,21 \pm 0,01}$
	2013 г.	$\frac{< 0,04 - 0,35}{0,14 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,02 - 1,05}{0,21 \pm 0,03}$	$\frac{< 0,016 - 0,13}{0,044 \pm 0,003}$	$\frac{1,1 - 5,4}{2,7 \pm 0,1}$	$\frac{< 0,10 - 0,57}{0,17 \pm 0,01}$
	2014 г.	$\frac{< 0,04 - 0,36}{0,15 \pm 0,01}$	$\frac{0,02 - 0,49}{0,16 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,016 - 0,098}{0,043 \pm 0,003}$	$\frac{0,8 - 4,9}{2,5 \pm 0,1}$	$\frac{0,11 - 1,01}{0,25 \pm 0,02}$
	2015 г.	$\frac{< 0,04 - 0,50}{0,13 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,02 - 0,22}{0,07 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,016 - 0,17}{0,041 \pm 0,004}$	$\frac{0,5 - 4,0}{1,5 \pm 0,1}$	$\frac{< 0,10 - 0,27}{0,12 \pm 0,01}$
	2016 г.	$\frac{< 0,04 - 0,65}{0,17 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,02 - 0,57}{0,12 \pm 0,01}$	$\frac{< 0,016 - 0,095}{0,033 \pm 0,003}$	$\frac{0,7 - 4,0}{1,8 \pm 0,1}$	$\frac{< 0,10 - 0,40}{0,15 \pm 0,01}$

Примечание: \* – в числителе max-min, в знаменателе – средняя концентрация и ее ошибка.

Динамика фосфатов в Ириклинском водохранилище в рассматриваемый период не связана с колебаниями годового водного стока. Сезонная динамика показателя характеризовалась более высокими концентрациями весной и осенью. В весенний период доминирующим источником фосфатов являлся поверхностный сток, а осенью увеличение их концентрации происходило, возможно, за счет включения в биотический круговорот фосфатов, депонированных в донных отложениях, с последующим разложением автохтонной органики.

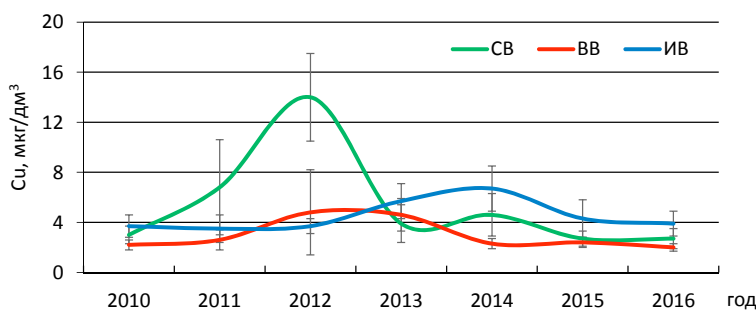
В волжских водохранилищах распределение фосфатов по продольной оси достаточно равномерно, в Ириклинском, особенно в период дождей и весенних паводков, выделялись верховья водохранилища и остальная часть.

Концентрация кремния в верхней части Ириклинского водохранилища также была значительно выше, чем на остальной акватории. В отдельные периоды наблюдалась существенная зависимость между количеством кремния и величиной цветности ( $r = 0,81-0,92$ ), свидетельствующая о поступлении Si с поверхностным стоком. В нижеволжских водоемах в рассматриваемый период колебания показателя происходили на более высоком уровне (табл. 2).

Содержание общего растворенного железа в исследуемых водоемах, в основном, варьировало в одних пределах (табл. 2). В Ириклинском водохранилище в 2014 и 2015 гг. в верховьях зарегистрированы высокие концентрации до 1,1 мг/дм<sup>3</sup>. Сезонная динамика железа характеризовалась повышенными значениями весной и уменьшением содержания в периоды интенсификации биопродукционных процессов.

Медь является важнейшим микроэлементом для развития и жизнедеятельности водных организмов, однако в повышенных концентрациях становится сильным ядом [15]. Высокая способность к комплексообразованию способствует миграции этого элемента от источника загрязнения практически бесконечно. Наиболее высокое содержание меди в диапазоне 6,8–14 мкг/дм<sup>3</sup> отмечено в Саратовском водохранилище в 2011–2012 гг. (рис. 5). В Волгоградском водохранилище повышенные концентрации наблюдали немного позже в 2012–2013 гг. на уровне 4,8–4,6 мкг/дм<sup>3</sup>.

Ириклинское водохранилище расположено в так называемом «металлургическом» Уральском регионе, специфика природного фона и промышленное водоотведение которого способствуют загрязнению поверхностных вод соединениями металлов, в т. ч. и медью. За исследованный период максимальные концентрации этого элемента отмечены в 2013–2014 гг. на уровне 5,7–6,7 мкг/дм<sup>3</sup> (рис. 5). Только для Ириклинского водохранилища установлена достоверная корреляционная связь между среднесезонным количеством Cu и величиной стока ( $r = 0,90$ ). Русловые придонные горизонты содержали более высокие количества Cu по сравнению с поверхностными: в нижеволжских водохранилищах в среднем в 1,4–1,6 раза, в глубоководном Ириклинском водохранилище – в 2,6 раза.



**Рис. 5.** Содержание меди (средняя концентрация в 95 % доверительном интервале) в воде Саратовского, Волгоградского и Ириклинского водохранилищ: СВ – Саратовское, ВВ – Волгоградское, ИВ – Ириклинское водохранилища.

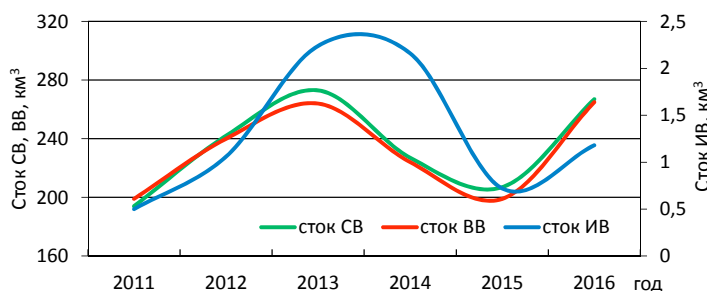
**Fig. 5.** Copper content (mean concentration in 95% confidence interval) in water of the Saratov, Volgograd and Irklinskoye reservoirs: CB – Saratov, BB – Volgograd, IB – Irklinskoye reservoirs.

Свинец относится к техногенным элементам, высокие концентрации которого вызывают физиологические и биохимические нарушения в работе различных систем и органов гидробионтов [15]. Как правило, содержание этого элемента в воде исследованных водоемов находилось в интервале  $<1,0-3,3$  мкг/дм<sup>3</sup>. Однако в отдельные периоды на некоторых участках зафиксировано значительное увеличение концентраций. Так, на Саратовском водохранилище в 2011–2012 гг. экстремальные значения этого металла превышали рыбохозяйственный норматив в 3–5 раз. Напомним, что в этот период на Саратовском водохранилище отмечено превышение ПДК по нитритам в 3–5 раз. На Волгоградском водохранилище в 2013 г. максимальная концентрация Pb также увеличилась до  $3,2-3,3$  мкг/дм<sup>3</sup>. В воде Ириклинского водохранилища экстремальные количества свинца регистрировали в осенний период 2016 г. на уровне  $2,7-3,0$  ПДК. Придонные горизонты воды исследованных водоемов, как правило, содержали более высокие концентрации этого элемента.

Гидрохимический состав водоемов Нижней Волги формируется в значительной степени под влиянием стока из вышележащих водохранилищ, в Ириклинском – более высока роль боковой приточности [11].

На рис. 6 показана динамика годового стока через Саратовский, Волжский и Ириклинский гидроузлы за 2009–2016 гг. Колебания водного стока происходят синхронно: в 2011 и 2015 гг. зарегистрированы самые низкие показатели. В Ириклинском водохранилище 2013 и 2014 гг. значительно превышали предыдущие периоды по водности, в Волгоградском и Саратовском – многоводными были 2013 и 2016 гг. Увеличение поверхностного стока привело к привносу в водохранилища многих соединений, в связи с чем изменилась сезонная динамика ингредиентов, максимальные концентрации ОВ, соединений азота, фосфора, кремния и железа наблюдали в иные сроки, чем в маловодные годы.

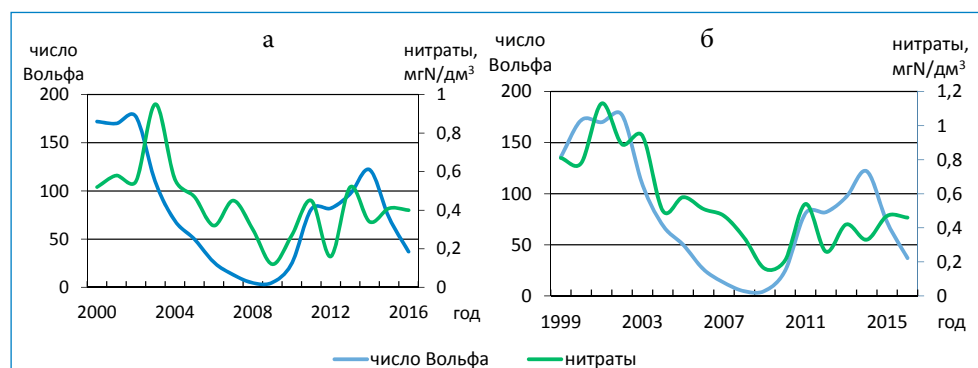
Несмотря на отмеченные различия гидрохимического режима исследуемых водохранилищ, связанные с их географическим положением, морфометрией, гидрологией, литологическими особенностями, выявлена синхронность колебаний основных показателей, характеризующих трофический статус водных экосистем, а также величин водного стока через Саратовский, Волжский и Ириклинский гидроузлы. С высокими коэффициентами корреляции в этих водохранилищах изменяются величины ПО, общего и легкоокисляемого ОВ, нитратного азота. Вероятно, синхронность динамики гидрохимических параметров водных экосистем обусловлена действием глобальных факторов, одним из которых может быть солнечная активность.



**Рис. 6.** Динамика водного стока через Саратовский, Волжский, Ириклинский гидроузлы в 2009–2016 гг: СВ – Саратовское, ВВ – Волгоградское, ИВ – Ириклинское водохранилища.

Fig. 6. Dynamics of water flow through Saratov, Volzhskiy, Iriklinsky hydropower systems in 2009–2016: CB – Saratov, BB – Volgograd, IB – Iriklinsky reservoirs.

При рассмотрении изменений параметров гидрохимического режима водохранилищ в связи с некоторыми характеристиками гелиофизической обстановки выявлены зависимости между числами Вольфа и нитратами в Саратовском ( $r = 0,52$ ), Волгоградском ( $r = 0,75$ ) (рис. 7 а, б) и Ириклинском водохранилищах, а также отрицательные зависимости между числами Вольфа и содержанием фосфатов в Волгоградском и Ириклинском водохранилищах.



**Рис. 7.** Динамика чисел Вольфа (по [16]) и нитратов в Саратовском (а) и Волгоградском (б) водохранилищах в период 1999–2016 гг.

Fig. 7. Dynamics of Wolf number (according to [16]) and nitrites in the Saratov (а) and the Volgograd (б) reservoirs during the 1999–2016 period.

Не останавливаясь детально на рассмотрении этих зависимостей (поскольку это не входило в задачи данного исследования), отметим, что содержание в воде той или иной формы ОВ и биогенных элементов в большой

степени определяется жизнедеятельностью гидробионтов, влияние на которых солнечной активности несомненно.

Для исследования структуры многомерного массива некоторых гидрохимических показателей, наблюдаемых в водохранилищах в 2010–2016 гг. в сезонном аспекте, проведен факторный анализ методом главных компонент [17, 18]. Критерием для выделения оптимального числа факторов служили собственные значения, являющиеся дисперсиями главных компонент (ГК). Рассматривались только ГК с дисперсией больше единицы. Абсолютное значение нагрузки 0,7 и выше принимали за существенную связь, ниже 0,7 – предполагали отсутствие связи. Наличие существенной связи указывает на согласованное изменение исходных гидрохимических показателей под действием того или иного скрытого главного фактора.

На Саратовском водохранилище по итогам анализа были отобраны четыре первые компоненты, учитывающие 81,1 % изменчивости исходных показателей, на Волгоградском – три ГК, вбирающие в себя 76,8 % суммарной накопленной дисперсии (табл. 3).

**Таблица 3.** Результаты компонентного анализа массива данных Саратовского и Волгоградского водохранилищ  
Table 3. Results of component analysis data set of Saratov and Volgograd reservoirs

Саратовское водохранилище				Волгоградское водохранилище			
Главные компоненты	Собственные числа	Дисперсия, %	Суммарная накопленная дисперсия, %	Главные компоненты	Собственные числа	Дисперсия, %	Суммарная накопленная дисперсия, %
<b>1</b>	<b>4,15</b>	<b>37,7</b>	<b>37,7</b>	<b>1</b>	<b>5,08</b>	<b>46,2</b>	<b>46,2</b>
<b>2</b>	<b>2,16</b>	<b>19,6</b>	<b>57,3</b>	<b>2</b>	<b>1,99</b>	<b>18,1</b>	<b>64,3</b>
<b>3</b>	<b>1,43</b>	<b>13,0</b>	<b>70,3</b>	<b>3</b>	<b>1,38</b>	<b>12,6</b>	<b>76,8</b>
4	1,19	10,8	81,1	4	0,83	7,5	84,4
5	0,85	7,8	88,9	5	0,65	5,9	90,3
6	0,60	5,5	94,3	6	0,56	5,1	95,3
7	0,36	3,2	97,6	7	0,20	1,8	97,1
8	0,12	1,1	98,6	8	0,19	1,7	98,8
9	0,10	0,9	99,5	9	0,08	0,7	99,6
10	0,04	0,4	99,9	10	0,04	0,4	99,9
11	0,01	0,1	100	11	0,01	0,1	100

Примечание: темным шрифтом выделены ГК, собственные числа которых более 1.

Итоговая матрица факторных нагрузок дает представление о плеядной организации исходных гидрохимических показателей и степени их связи с тем или иным главным фактором (компонентой). В результате выявлены плеяды признаков, характерные для каждого водного объекта.



Для Саратовского водохранилища первый фактор, определяя 37,7 % дисперсии, имеет высокие факторные нагрузки по отношению к показателям цветности, перманганатной окисляемости, азоту аммония и железу (табл. 4). Второй фактор, объясняя 19,6 % вариабельности исходных показателей, тесно связан с величиной сезонного стока и содержанием нитратов, которые имеют четкую сезонную динамику. Третий фактор интегрирует информацию об изменении азота нитритов и описывает 13,0 % дисперсии. Для четвертого фактора характерна высокая нагрузка по содержанию меди.

Сходные результаты получены и для Волгоградского водохранилища. В первую компоненту вошли показатели цветности, ПО, а также железо. Во второй компоненте, как и для Саратовского водохранилища, высокая факторная нагрузка отмечена для показателей сезонного стока и нитратов. Фосфаты и органическое вещество (ХПК) вошли в третью компоненту, причем с противоположными знаками.

**Таблица 4.** Матрица факторных нагрузок гидрохимических показателей Саратовского и Волгоградского водохранилищ

Table 4. The Saratov and Volgograd reservoirs hydrochemical indicators factor loads matrix

Водохранилище	Саратовское				Волгоградское		
	Главные факторы				Главные факторы		
	1	2	3	4	1	2	3
Сток	0,36	<b>0,86</b>	0,17	0,05	0,11	<b>0,93</b>	0,13
Цветность	<b>0,88</b>	0,25	-0,04	-0,14	<b>0,93</b>	0,12	0,24
ПО	<b>0,90</b>	-0,17	0,03	0,20	<b>0,93</b>	-0,11	0,04
ХПК	0,37	-0,14	-0,54	0,29	0,22	0,15	<b>0,76</b>
Азот аммония	<b>0,89</b>	0,12	0,08	-0,21	0,45	0,69	0,28
Азот нитритов	0,12	0,01	<b>0,90</b>	0,24	0,16	0,68	0,42
Азот нитратов	-0,13	<b>0,93</b>	0,05	0,16	-0,22	<b>0,73</b>	-0,04
Фосфор минеральный	-0,27	-0,41	-0,51	0,26	-0,01	-0,05	<b>-0,86</b>
Кремний	0,56	-0,11	0,15	0,61	0,58	0,67	-0,12
Железо	<b>0,79</b>	0,57	0,05	0,11	<b>0,75</b>	0,50	0,29
Медь	0,22	-0,32	0,06	<b>-0,83</b>	0,58	0,09	0,56

*Примечание:* темным шрифтом выделены значимые нагрузки.

Для Ириклинского водохранилища факторным анализом выделено три ГК с учетом 79,4 % дисперсии признаков (табл. 5). Первая компонента свидетельствует о согласованной динамике в воде водоема показателей ПО, азота нитритов и Fe. Вторая компонента интегрирует информацию по количеству нитратов и  $P_{мин}$ , но, в отличие от Волгоградского водохранилища, связь второго фактора и фосфатов положительная. Третья компонента связана с содержанием Си и величиной сезонного стока.

В первую компоненту, характеризующую генеральное направление изменчивости гидрохимических параметров волжских водохранилищ, вошли ПО, цветность, Fe, а также азот аммония и нитритов. Для Ириклинского водохранилища в структуру первого главного фактора не вошел показатель цветности, однако по своей величине факторная нагрузка по этому показателю приближается к значимому уровню 0,7. Следует отметить, что окраска воды может быть также связана с содержанием неорганических соединений некоторых металлов как природного, так и техногенного происхождения, что, возможно, наблюдается в Ириклинском водохранилище, расположенном в индустриальном регионе. Кроме того, к значимому уровню приближается и нагрузка по Si, который, наряду с нитратами и фосфатами, в Ириклинском водохранилище имеет выраженную пространственную динамику (различие концентрации в верховьях водоема и на остальной акватории).

**Таблица 5.** Результаты компонентного анализа массива данных и матрица факторных нагрузок гидрохимических показателей Ириклинского водохранилища

Table 5. Results of the component analysis of the Iriklynskoye reservoir hydrochemical indicators data file and the factor loads matrix

Результаты компонентного анализа				Факторные нагрузки			
Главные компоненты	Собственные числа	Дисперсия, %	Суммарная накопленная дисперсия, %	Главные факторы			
				Показатели	1	2	3
1	<b>5,57</b>	<b>50,7</b>	<b>50,7</b>	Сток	-0,21	0,53	<b>0,75</b>
2	<b>1,64</b>	<b>14,9</b>	<b>65,6</b>	Цветность	0,57	0,61	0,36
3	<b>1,52</b>	<b>13,8</b>	<b>79,4</b>	ПО	<b>0,86</b>	0,25	0,18
4	0,76	6,9	86,3	ХПК	0,49	0,02	0,65
5	0,46	4,2	90,5	Азот аммония	0,65	-0,07	0,57
6	0,38	3,4	94,0	Азот нитритов	<b>0,92</b>	0,04	-0,07
7	0,22	2,0	96,0	Азот нитратов	0,55	<b>0,74</b>	0,16
8	0,19	1,7	97,6	Фосфор минеральный	-0,02	<b>0,91</b>	-0,11
9	0,15	1,3	99,0	Кремний	0,48	0,62	0,41
10	0,08	0,8	99,7	Железо	<b>0,71</b>	0,46	0,16
11	0,03	0,3	100	Медь	0,10	0,02	<b>0,82</b>

Примечание: темным шрифтом выделены ГК, собственные числа которых более 1, и значимые факторные нагрузки.

Таким образом, исследование структуры многомерного массива гидрохимических показателей методом ГК позволило выявить универсальность

процессов, происходящих в экосистемах водохранилищ. Поверхностный сток определяет величины цветности, ПО, аммонийного азота, железа. Содержание нитратов в большей степени зависит от сезонных изменений водного стока, а динамика фосфатов специфична и определяется более сложными внутриводоемными процессами.

### **ВЫВОДЫ**

Проведенные исследования показали, что гидрохимический режим в нижеволжских и Ириклинском водохранилищах имеет существенные отличия. В Ириклинском водохранилище отмечены более низкие величины показателей, характеризующих аллохтонную органику, и более высокое содержание общего ОВ. В исследуемых водоемах зафиксировано увеличение значений БПК<sub>5</sub>, однако статистическая значимость доказана только для Ириклинского водохранилища.

Содержание соединений N<sub>мин</sub> в Ириклинском водохранилище – более низкое. Доминирующей формой в Саратовском и Волгоградском водохранилищах является азот нитратный, в Ириклинском, как правило, азот аммонийный. Содержание нитратов в волжских водохранилищах существенно изменяется по сезонам, в Ириклинском – сезонная динамика нитратного азота не выражена. Концентрация кремния в Ириклинском водохранилище более низкая, чем в Саратовском и Волгоградском. В период обильных дождевых паводков основным источником P<sub>мин</sub> и Si становился поверхностный сток, о чем свидетельствуют корреляционные отношения фосфатов и кремния с аллохтонной органикой.

За исследуемый период отмечена синхронность колебаний основных показателей, характеризующих трофический статус водных экосистем, а также величин водного стока через соответствующие гидроузлы. Одним из глобальных геофизических факторов, приводящих к синхронности колебаний гидрохимических и стоковых показателей, может быть солнечная активность.

Максимальные концентрации свинца и меди зарегистрированы в 2011–2012 гг. на Саратовском водохранилище и несколько позже в 2012–2013 гг. на расположенном ниже Волгоградском. Совершенно иная динамика распределения загрязняющих элементов в Ириклинском водохранилище связана, очевидно, с региональной спецификой водосбора и физико-химическими условиями среды.

Несмотря на установленные отличия гидрохимического режима исследуемых водохранилищ, статистическая обработка массива общих гидрохимических показателей позволила выявить универсальность процессов, происходящих в их экосистемах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реестр методик количественного химического анализа и оценки состояния объектов окружающей среды, допущенных для государственного экологического контроля и мониторинга (ПНД Ф). Режим доступа: <http://fcao.ru/metodiki-kkha.html> (дата обращения: 01.12.2015).
2. ФГБУ «Управление эксплуатации Ириклинского водохранилища. Режим доступа: <http://ueiv.ru> (дата обращения: 22.10.2017).
3. Филиал ПАО «РусГидро» – «Волжская ГЭС». Режим доступа: <http://www.volges.rushydro.ru> (дата обращения: 13.11.2017).
4. Горин Ю.И. Некоторые черты гидрологического режима Саратовского водохранилища // Тр. ИБВВ АН СССР. 1972. Т. 23 (26). С. 193–198.
5. Герасимова Н.А. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Тольятти: Изд-во ИБВВ, 1996. 200 с.
6. Шашуловский В.А., Мосияш С.С. Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессии его экосистемы. М.: КМК, 2010. 249 с.
7. Небольсина Т.К., Земскова Г.Г. Гидрологический и гидрохимический режимы Волгоградского водохранилища // Рыбохозяйственное освоение и биопродукционные возможности Волгоградского водохранилища. Саратов: СГУ. 1980. С. 6–30.
8. Киякова Ю.В., Лысенко А.А. Экологическое состояние Ириклинского водохранилища. Оценка вылова рыбы за последнее десятилетие // Научный журнал КубГАУ. 2007. № 33 (9). С. 168–178.
9. Соловьев Г.Н., Раимова Е.К., Осадчая Н.Д., Фабарисова Л.Г., Никитина Л.П. Гидробиологическая характеристика Ириклинского водохранилища. Екатеринбург: УрО РАН. 2003. 178 с.
10. Яковлева А.Н. Саратовское водохранилище // Известия ГосНИОРХ. 1975. Т. 102. С. 118–129.
11. Чибилев А.А., Павлейчик В.М., Дамрин А.Г. Ириклинское водохранилище: геоэкология и природно-ресурсный потенциал. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 183 с.
12. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 443 с.
13. Далечина И.Н., Джаяни Е.А. Динамика видового состава и количественных показателей фитопланктона в водохранилищах Нижней Волги за 2003–2013 гг. // Рыбохозяйственные водоемы России. Фундаментальные и прикладные исследования: мат-лы межд. научн. конф. / СПб. 6–10 октября 2014. С. 287–292.
14. Котляр С.Г., Лизина Н.Н., Мосияш С.С., Шашуловская Е.А. Экосистемный подход к регламентации содержания биогенных элементов в водоеме // Научн. тетр. ГосНИОРХ. 2004. Вып. 9. 36 с.
15. Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация рыб. М.: Наука. 2004. 215 с.
16. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год. М., Росгидромет, 2016. Режим доступа: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения: 06.12.2017).
17. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика. 1989. 333 с.

18. Коросов А.В. Экологические приложения компонентного анализа. Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1996. 152 с.

**Сведения об авторах:**

**Шашуловская Елена Александровна**, канд. биол. наук, заведующая сектором гидрохимии и экологической токсикологии, Саратовский филиал, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 410002, г. Саратов, ул. Чернышевского, 152; e-mail: shash.elena2010@yandex.ru

**Мосияш Светлана Александровна**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Саратовский филиал, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 410002, г. Саратов, ул. Чернышевского, 152; e-mail: shash.elena2010@yandex.ru

**Филимонова Ирина Григорьевна**, старший научный сотрудник, Саратовский филиал, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 410002, г. Саратов, ул. Чернышевского, 152; e-mail: shash.elena2010@yandex.ru

**Гришина Лилия Витальевна**, младший научный сотрудник, Саратовский филиал, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 410002, г. Саратов, ул. Чернышевского, 152

**Кузина Елена Германовна**, научный сотрудник, Саратовский филиал, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 410002, г. Саратов, ул. Чернышевского, 152

**Шашуловская Ольга Владимировна**, лаборант, Саратовский филиал, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 410002, г. Саратов, ул. Чернышевского, 152; e-mail: shash.elena2010@yandex.ru

*Для цитирования:* Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г., Гришина Л.В., Кузина Е.Г., Шашуловская О.В. Особенности многолетней динамики гидрохимических показателей водохранилищ Нижней Волги и реки Урал (на примере Саратовского, Волгоградского, Ириклинского водохранилищ) // Водное хозяйство России. 2019. № 3. С. 72-93.

**FEATURES OF THE LONG-TERM DYNAMICS OF HYDROCHEMICAL INDICATORS OF THE LOWER VOLGA RESERVOIRS AND THE URAL RIVER (ON THE EXAMPLE OF THE SARATOV, VOLGOGRAD, IRIKLINSKY RESERVOIRS)**

**Elena A. Shashulovskaya, Svetlana A. Mosiyash, Irina G. Filimonova, Liliya V. Grishina, Elena G. Kuzina, Olga V. Shashulovskaya**

E-mail: shash.elena2010@yandex.ru

*Saratov branch of Russian Federal «Research Institute of Fisheries and Oceanography», Saratov, Russia*

**Abstract:** The article considers the long-term dynamics of organic matter, biogenic and toxic elements in the reservoirs of the Lower Volga (Saratov and Volgograd) and the Ural River (Iriklienskoe), differing in geographical location, morphometric and hydrological characteristics. In the Ural reservoir, in contrast to the Lower Volga reservoirs, lower

concentrations of mineral nitrogen, silicon, as well as indicators characterizing allochthonic organic matter, and a higher level of total and easily oxidable organic matter are recorded. There are differences in the seasonal and spatial dynamics of the ingredients. Despite the differences in the hydrochemical regime of the reservoirs under study, the synchronicity of the main indicators characterizing the trophic status of the aquatic ecosystem (total, easily oxidable and allochthonic organic matter, and nitrate nitrogen), as well as the amount of water flow through the corresponding hydroelectric facilities was revealed. Studies of the structure of a multidimensional array of general hydro/chemical indicators by the method of principal components revealed the universality of the processes occurring in reservoir ecosystems, the basis of which is surface runoff and seasonal changes.

**Key words:** nutrients and toxic elements, organic matter, annual water flow, Volgograd, Saratov and Iriklienskoe reservoirs.

#### **About the authors:**

Elena A. Shashulovskaya, Candidate of Biological Sciences, Head of the Hydrochemistry and Ecological Toxicology Sector of the Saratov branch of Russian Federal «Research Institute of Fisheries and Oceanography» 410002, Saratov, Chernyshevsky st., 152; e-mail: shash.elena2010@yandex.ru

Svetlana A. Mosiyash, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector of the Saratov branch of Russian Federal «Research Institute of Fisheries and Oceanography», 410002, Saratov, Chernyshevsky st., 152; e-mail: shash.elena2010@yandex.ru

Irina G. Filimonova, Senior Researcher of the Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector of the Saratov branch of Russian Federal «Research Institute of Fisheries and Oceanography», 410002, Saratov, Chernyshevsky st., 152.

Liliya V. Grishina, Junior Researcher of the Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector of the Saratov Branch of Russian Federal «Research Institute of Fisheries and Oceanography» of L.S. Berg State Research Institute of Lake and River Fisheries, 410002, Saratov, Chernyshevsky st., 152.

Elena G. Kuzina, Researcher of the Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector of the Saratov branch of Russian Federal «Research Institute of Fisheries and Oceanography», 410002, Saratov, Chernyshevsky st., 152.

Olga V. Shashulovskaya, laboratory technician of the Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector of the Saratov branch of Russian Federal «Research Institute of Fisheries and Oceanography», 410002, Saratov, Chernyshevsky st., 152.

**For citation:** *Shashulovskaya E.A., Mosiyash S.A., Filimonova I.G., Grishina L.V., Kuzina Y.G., Shashulovskaya O.V. Features of the Long-term Dynamics of Hydrochemical Indicators of the Lower Volga and the Ural River Reservoirs (the Saratov, Volgograd and Irikliensky Reservoirs as Examples) // Water Sector of Russia. 2019. No. 3. P. 72-93.*

#### **REFERENCES**

1. Reyestr metodik kolichestvennogo khimicheskogo analiza i otsenki sostoyaniya obyektov okruzhayushchey sredy, dopushchennykh dlya gosudarstvennogo ekologicheskogo kontrolya i monitoringa [Register of the quantitative chemical analysis and assessment of environmental bodies status methods permitted for governmental environmental inspection and monitoring] (PND F). Rezhim dostupa: <http://fcao.ru/metodiki-kkha.html> (data obrashcheniya: 01.12.2015). [in Russian]
2. FGBU «Upravlenie ekspluatatsii Iriklienskogo vodohranilishcha. Rezhim dostupa: <http://ueiv.ru> (data obrashcheniya: 22.10.2017).



3. Filial PAO «RusGidro» – «Volzhskaya GES». Rezhim dostupa: <http://www.volges.rushydro.ru> (data obrashcheniya: 13.11.2017).
4. Gorin Y. I. Nekotorye cherty gidrologicheskogo rezhima Saratovskogo vodokhranilishcha [Some features of the Saratov reservoir hydrological regime] // Tr. IBVV AN SSSR. 1972. T. 23 (26). P. 193-198. [in Russian]
5. Gerasimova N.A. Fitoplankton Saratovskogo i Volgogradskogo vodokhranilishch [The Saratov and Volgograd reservoirs phytoplankton]. Togliatti: Izd-vo IBVV. 1996. 200 p. [in Russian]
6. Shashulovskiy V.A., Mosiyash S.S. Formirovanie biologicheskikh resursov Volgogradskogo vodokhranilishcha v khode suktsessiyi yego ekosistemy [The Volgograd reservoir biological resources formation in the process of its ecosystem succession]. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK. 2010. 249 p. [in Russian]
7. Nebol'sina T.K., Zemskova G.G. Gidrologicheskii i gidrokhimicheskiy rezhimy Volgogradskogo vodokhranilishcha [The Volgograd reservoir hydrological and hydro/chemical regimes]// Rybokhozyaystvennoe osvoenie i bioproduktsionnye vozmozhnosti Volgogradskogo vodokhranilishcha. Saratov: SGU. 1980. P. 6-30. [in Russian]
8. Kilyakova Y.V., Lysenko A.A. Ekologicheskoe sostoyanie Iriklienskogo vodokhranilishcha. Otsenka vylova ryby za posledneye desyatiletie [Ecological status of the Iriklienskoye reservoir. Estimation of the fish catch over the past decade] // Nauchnyy zhurnal KubGAU. 2007. № 33 (9). p. 168-178. [in Russian]
9. Solovyh G.N., Raimova E.K., Osadchaya N.D., Fabarisova L.G., Nikitina L.P. Gidrobiologicheskaya kharakteristika Iriklienskogo vodokhranilishcha [The Iriklienskoye reservoir hydro/biological characteristics]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2003. 178 p. [in Russian]
10. Yakovleva A.N. Saratovskoe vodokhranilishche [The Saratov reservoir] // Izvestiya GosNIORH. 1975. T. 102. P. 118-129. [in Russian]
11. Chibilev A.A., Pavlejchik V.M., Damrin A.G. Iriklienskoe vodokhranilishche: geoekologiya i prirodno-resursnyy potentsial [The Iriklienskoye reservoir: geo/ecology and natural resources potential] . Ekaterinburg: UrO RAN. 2006. 183 p. [in Russian]
12. Alekin O.A. Osnovy gidrokhimiyi [Foundations of hydro/chemistry]. L.: Gidrometeoizdat. 1970. 443 p. [in Russian]
13. Dalechina I.N., Dzhayani E.A. Dinamika vidovogo sostava i kolichestvennykh pokazateley fitoplanktona v vodokhranilishchakh Nizhney Volgi za 2003-2013 gg. [Dynamics of the Lower Volga phytoplankton species structure and quantitative indicators in 2003-2013] // Rybohozyaystvennyye vodoemy Rossii. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii / SPb. 6-10 oktyabrya 2014. P. 287-292. [in Russian]
14. Kotlyar S.G., Lizina N.N., Mosiyash S.S., Shashulovskaya E.A. Ekosistemnyi podkhod k reglamentatsiyi soderzhaniya biogennykh elementov v vodoyome [Ecosystem approach to the regulation of biogenic elements in a water body]// Nauchn. tetr. GosNIORH. 2004. V. 9. 36 p. [in Russian]
15. Nemova N.N., Vysotskaya R.U. Biokhimicheskaya indikatsiya ryb [Fish biochemical indication]. M.: Nauka. 2004. 215 p. [in Russian]
16. Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossiyskoy Federatsiyi za 2016 god [Review of the environment status and pollution in the Russian Federation in 2016]. M., Rosgidromet. 2016. Rezhim dostupa: <http://www.meteor.ru> (data obrashcheniya: 06.12.2017). [in Russian]
17. Ajvazyan S.A., Buhshhaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizhenie razmernosti [Applied statistics: classification and dimensionality decreasing]. M.: Finansy i statistika. 1989. 333 p. [in Russian]
18. Korosov A.V. Ekologicheskie prilozheniya komponentnogo analiza [Ecological application of component analysis]. Petrozavodsk: Izd-vo PGU. 1996. 152 p. [in Russian]