



УДК 574.632

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ В ЗАМЫКАЮЩИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ ВОЛЖСКОГО КАСКАДА

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

ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства  
им. Л.С. Берга», Саратовское отделение, ул. Чернышевского 152, 410002, Саратов, Россия; e-mail: gosniiorh@mail.ru

### РЕЗЮМЕ

Рассмотрена многолетняя динамика органического вещества и биогенных элементов в замыкающих водохранилищах Волжского каскада в период 2004–2014 гг., который характеризовался изменением климатических условий: снижением количества осадков, увеличением летних температур, отрицательным трендом водного стока Волги с тенденцией спада показателей водности половодий. Базовыми характеристиками состояния водной экосистемы, определяющими ее продуктивность и основные тенденции развития, можно считать содержание органического вещества и биогенных элементов. Органическое вещество (ОВ) в воде Саратовского и Волгоградского водохранилищ оценивали по показателям перманганатной (ПО) и бихроматной (ХПК) окисляемости, БПК<sub>5</sub>, анализировали содержание трех форм минерального азота, минерального фосфора, растворенного железа и кремния. За исследуемый период зарегистрированы отрицательные тренды аллохтонного и легкоокисляемого органического вещества и основных биогенных элементов (азота и фосфора). Показано, что возможной причиной изменения количественных показателей этих гидрохимических компонентов рассматриваемых водохранилищ является многолетнее снижение объема водного стока. Корреляционные отношения, связывающие величины водного стока, перманганатной окисляемости и соединений азота, указывают на определенную долю терригенных источников в балансе азотистых минеральных форм. Среднесезонные колебания концентрации общего ОВ, при сохранении синхронности, в Волгоградском водохранилище происходят на более высоком уровне, чем в Саратовском. Выраженного тренда изменения концентраций общего ОВ не наблюдается. В Волгоградском водохранилище замедление скоростей течения и, соответственно, больший прогрев водной массы обеспечивают более высокий биопродукционный потенциал, о чем свидетельствуют значения показателей, характеризующих содержание автохтонной органики.

**Ключевые слова:** биогенные элементы, Волгоградское и Саратовское водохранилища, годовой водный сток, органическое вещество

## HYDRO-CHEMICAL BASIS OF BIOLOGICAL PRODUCTIVITY IN THE CLOSING RESERVOIRS OF THE VOLGA CASCADE

E.A. Shashulovskaya\*, S.A. Mosiyash, I.G. Filimonova, L.V. Grishina and E.G. Cousina

FSBI "State institute of lake and river fishery named LS Berg", Saratov office, Chernyshevsky, 152, 410002, Saratov, Russia;  
e-mail: gosniiorh@mail.ru

### ABSTRACT

Long-term dynamics of organic matter and nutrients in the closing-reservoirs of the Volga cascade in the period 2004–2014 were studied. This period was characterized by changes in climatic conditions: reduce of rainfall, increase of summer temperatures, the negative trend in water discharge of the Volga River with the pattern of decline in indicators of water availability and floods. Organic matter and nutrients can be considered as the basic

\*Автор-корреспондент / Corresponding author

characteristics of the state of the aquatic ecosystems that determine the productivity and patterns of development. Organic matter (OM) in water of the Saratov and Volgograd reservoirs was evaluated with permanganate (PO) and dichromate (COD) oxidation, BOD<sub>5</sub>. Concentrations of three forms of mineral nitrogen, mineral phosphorus, dissolved iron and silicon were analyzed. During the study period negative trends of the allochthonous organic matter, easy oxidized organic matter and major nutrients (nitrogen and phosphorus) were recorded. It was shown that a long-term decline in water runoff was the possible reason of changes in quantitative values of these hydrochemical components in the studied reservoirs. Correlation between water runoff, permanganate oxidation and nitrogen concentration indicates a role of terrigenous sources in the balance of nitrogen mineral forms. Average seasonal fluctuations of the total OM concentration, maintaining synchronicity, in the Volgograd reservoir occur at a higher level than in Saratov reservoir. We have not find changes in total OM concentrations during our study period. In the Volgograd reservoir, flow velocity deceleration and more intense heating of the water mass provide higher potential of biological production. The values of autochthonous organic matter content in the Volgograd reservoir confirm this assumption.

**Key words:** nutrients, Volgograd and Saratov reservoirs, annual water runoff, organic matter

---

## ВВЕДЕНИЕ

Саратовское и Волгоградское водохранилища являются замыкающими водоемами комплексного назначения в огромном Волжско-Камском каскаде. За свои почти полувековые периоды существования их экосистемы сохранили как общие для всего каскада черты, так и приобрели новые уникальные свойства. Количественная оценка, а также прогнозирование направления, темпов и стабильности процессов развития экосистем созданных водохранилищ имеют большое значение (Шашуловский, Мосияш [Shashulovsky, Mosiyash] 2010). Расположенные в индустриально развитом регионе Саратовское и особенно Волгоградское водохранилища являются аккумуляторами всего спектра химических веществ как природного, так и антропогенного происхождения.

Начало XXI века характеризуется изменением климатических условий, в частности снижением количества осадков и увеличением летних температур. За период 1999–2014 гг. отмечен многолетний отрицательный тренд водного стока Волги, который отличается тенденцией спада показателей водности половодий, выраженной регрессивным характером линейных трендов соответствующих статистических выборок (Горяинов и др. [Goryainov et al.] 2007; Филиппов и др. [Filippov et al.] 2015). Половодья последних лет не только изменили, а еще более усугубили ситуацию. Заметно растет число маловодных половодий 2003, 2009–2012, 2014–2015 гг. (Филиппов и др. [Filippov et al.] 2015).

Наиболее изменчивыми компонентами гидрохимического состава водохранилищ, связанными с жизнедеятельностью организмов различного трофического уровня, являются биогенные элементы и органическое вещество (ОВ). Их динамику, а также кинетику биохимической трансформации ОВ можно считать базовыми характеристиками состояния водной экосистемы, определяющими ее продуктивность и основные тенденции развития.

В связи с вышесказанным целью настоящего исследования является оценка изменений указанных гидрохимических параметров как базовых характеристик водных экосистем в замыкающих водохранилищах Волжского каскада (Саратовском и Волгоградском) в 2004–2014 гг.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для проведения настоящих исследований послужили пробы воды, отобранные на Саратовском и Волгоградском водохранилищах в 2004–2014 гг. по стационарным разрезам (Рис. 1, 2) с учетом вегетационного сезона: весной (апрель, май), летом и осенью (октябрь, ноябрь). В русловых участках отбор проб проводили в поверхностном и придонном горизонтах. Пробы отбирали батометром Молчанова. Всего были отобраны и обработаны 548 проб на Саратовском и 850 проб на Волгоградском водохранилищах, что в сумме без учета требований МВИ составило около 12600 определений.

Обработку гидрохимического материала осуществляли по общепринятым методикам (Реестр



Рис. 1. Карта-схема Саратовского водохранилища.

Fig. 1. Schematic map of the Saratov Reservoir.



Рис. 2. Карта-схема Волгоградского водохранилища.

Fig. 2. Schematic map of the Volgograd reservoir.

методик... [The Register of techniques... ] 2015). Объем годового водного стока рассчитывали по данным сброса через Волжский гидроузел (Информационная система... [Informational system gis.vodinfo.ru]. Динамику органического вещества в воде водохранилищ оценивали по показателям перманганатной (ПО) и бихроматной (ХПК) окисляемости, БПК<sub>5</sub>. Анализировали содержание трех форм минерального азота, минерального фосфора, растворенного железа и кремния. Для оценки многолетней динамики показателей рассчитывали их среднесезонные концентрации.

Статистическую обработку данных проводили с использованием соответствующих процедур программной среды Microsoft Excel, а также специализированного пакета программы Statgraphics Plus 5.0.

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Саратовское водохранилище – предпоследний, относительно неглубокий искусственный водоем в Волжском каскаде, заполнение которого завершилось к 1968 г. Оно расположено в нижнем течении р. Волги на участке от створа Жигулевской ГЭС у г. Тольятти до створа Саратовской ГЭС у г. Балаково в пределах трех областей (Самарской, Ульяновской и Саратовской). По гидрологическому режиму Саратовское водохранилище относится к речному типу водоемов с высокими проточностью и коэффициентом водообмена. В водохранилище не достигается объемов воды, характерных для накопительных водохранилищ. Вода, сбрасываемая из Куйбы-

**Таблица 1.** Морфометрические и гидрологические характеристики Саратовского и Волгоградского водохранилищ.  
**Table 1.** Morphometric and hydrological characteristics of Saratov and Volgograd reservoirs.

Показатели/ Indicators	Саратовское водохранилище/ Saratov reservoir	Волгоградское водохранилище/ Volgograd reservoir
Протяженность, км (Length, km)	340 <sup>1</sup>	524 <sup>3</sup>
Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup> (Water surface area, km <sup>2</sup> )	1950 <sup>1</sup>	3117–3500 <sup>3</sup>
Полный объем, км <sup>3</sup> (Full volume, km <sup>3</sup> )	13.0 <sup>1</sup>	31.4–33.5 <sup>3</sup>
Водообмен, раз в год (The water exchange, once per year)	18.9 <sup>1</sup>	7.5 <sup>3</sup>
Скорость течения, м/сек (Flowrate, m/sec)	0.15–1.3 <sup>2</sup>	0.06–0.7 <sup>3</sup>
Средняя глубина, м (Average depth, m)	7 <sup>1</sup>	10 <sup>3</sup>
Максимальная глубина, м (Maximum depth, m)	33 <sup>1</sup>	41 <sup>3</sup>
Площадь мелководий с глубиной до 5 м, % от общей площади (The area of shallow water with a depth to 5 m, % of total area)	46.4 <sup>2</sup>	47 <sup>3</sup>
Степень зарастания, % (The degree of overgrowing, %)	5.6 <sup>4</sup>	7.5 <sup>3</sup>
Средняя температура за 2004–2014 за июль (Average temperature in July 2004–2014)	20.8	23.1

*Примечание:* <sup>1</sup>по (Горин [Gorin] 1972); <sup>2</sup>по (Герасимова [Gerasimova], 1996); <sup>3</sup>по (Шашуловский, Мосияш [Shashulovsky, Mosiyash]) 2010; <sup>4</sup>по (С.С. Мосияш, личн. сообщ.).

*Note:* <sup>1</sup>(Gorin [Gorin] 1972); <sup>2</sup>(Gerasimova [Gerasimova], 1996); <sup>3</sup>(Shashulovsky, Mosiyash [Shashulovsky, Mosiyash]) 2010; <sup>4</sup>(Mosiyash S.S., personal communication).

шевского водохранилища, транзитом проходит через Саратовское.

Волгоградское водохранилище (год заполнения – 1960) расположено от створа Саратовской ГЭС у г. Балаково до створа Волжской ГЭС у г. Волгограда. Водохранилище пересекает почти в меридиональном направлении Саратовскую и Волгоградскую области и большей частью располагается в степной зоне. Конфигурация Волгоградского водохранилища позволяет отнести его к водохранилищам долинного типа, имеющим удлинённую форму (Фортунатов [Fortunatov], 1970). Скорости течения и коэффициент водообмена в нем более низкие, чем в Саратовском (Табл. 1). По морфологическим признакам и гидрологическому режиму акватории исследуемых водохранилищ делятся на три участка: верхний, средний и нижний. На верхних участках сохранились черты незарегулированной

реки. В водохранилищах выделяются русловые и пойменные участки. Основные поймы водохранилищ расположены в левобережье. Особенностью Волгоградского водохранилища, как и других водохранилищ Нижней Волги, является слабо развитая сеть боковой приточности (Паутова [Pautova], 2003). Подавляющая часть притоков приурочена к верхнему участку водохранилища. Среднегодовой объем воды из основных притоков Волгоградского водохранилища составляет менее 1% от общего поступления, Саратовского – 2.4% (Паутова [Pautova], 2003). Резких колебаний уровня, за исключением весеннего сезона, не наблюдается.

За период существования водохранилищ существенно увеличилось зарастание мелководий высшей водной растительностью. В настоящее время степень зарастания Волгоградского водохранилища составляет около 7.5% по сравне-

нию с 0.9% в 1972 г. (Шашуловский, Мосияш [Shashulovsky, Mosiyash] 2010), т.е. площади его зарастания увеличились в 7–8 раз. Примерно такими же темпами по расчетам С.С. Мосияша (С.С. Мосияш, личн. сообщ.) увеличились территории, занятые макрофитами, в Саратовском водохранилище, и в настоящее время составляют около 6% от его площади.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам наших исследований величина перманганатной окисляемости, характеризующей главным образом содержание в воде аллохтонного органического вещества, изменялась в исследуемый период в Саратовском и Волгоградском водохранилищах практически в одном интервале – от 5.2 до 13.0 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения показателя наблюдались весной, вследствие влияния поверхностного стока, обогащенного аллохтонной органикой, а в некоторые годы второй максимум наблюдался и летом при интенсивных биопродукционных процессах. В маловодные 2010, 2014 гг. отмечены минимальные среднесезонные значения ПО в водохранилищах, максимальные – в годы повышенной водности: 2004, 2005, 2007 (Рис. 3А). Колебания ПО в Саратовском водохранилище связаны с колебаниями водного стока с коэффициентом корреляции 0.61, а в Волгоградском (при аналогичном тренде значений) эта связь не установлена. В то же время связь между колебаниями значений перманганатной окисляемости для двух водохранилищ аппроксимируется коэффициентом корреляции, равным 0.72.

Величина ХПК, характеризующая общее содержание органического вещества, изменялась в Саратовском водохранилище в пределах 12–36 мг/дм<sup>3</sup>, в Волгоградском – 12–48 мг/дм<sup>3</sup>. Среднесезонные колебания концентрации общего органического вещества при сохранении синхронности в Волгоградском водохранилище происходят на более высоком уровне, чем в Саратовском (Рис. 3В). Выявленного тренда изменения концентраций ХПК в рассматриваемый период не наблюдается. Сезонные изменения величины ХПК так же как и изменения значений ПО, имеют два максимума: весной – вследствие смыва аллохтонной органики поверхностным стоком, в конце летнего периода – вследствие новообразования автохтонной органики. Амплитуда отношения

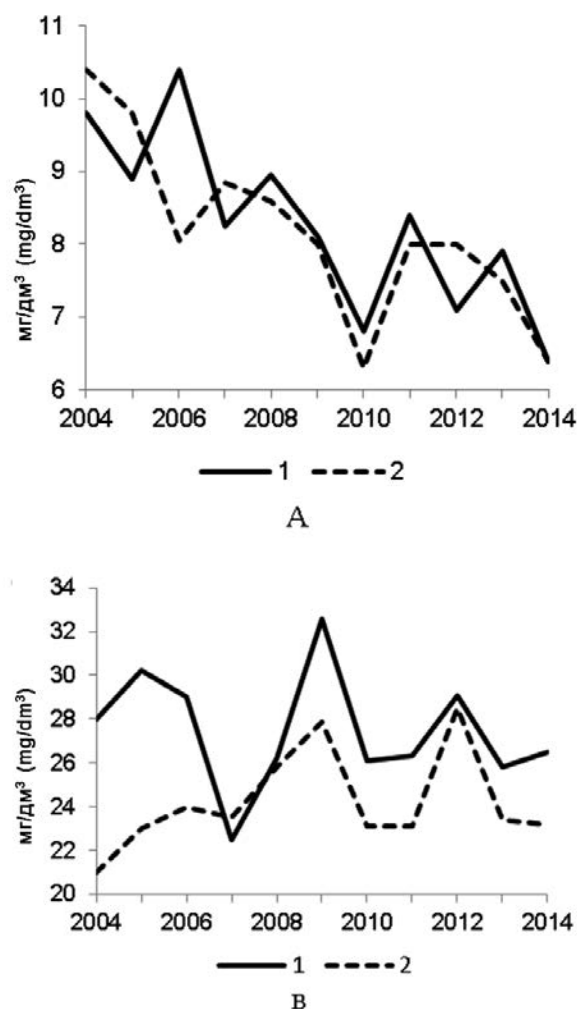
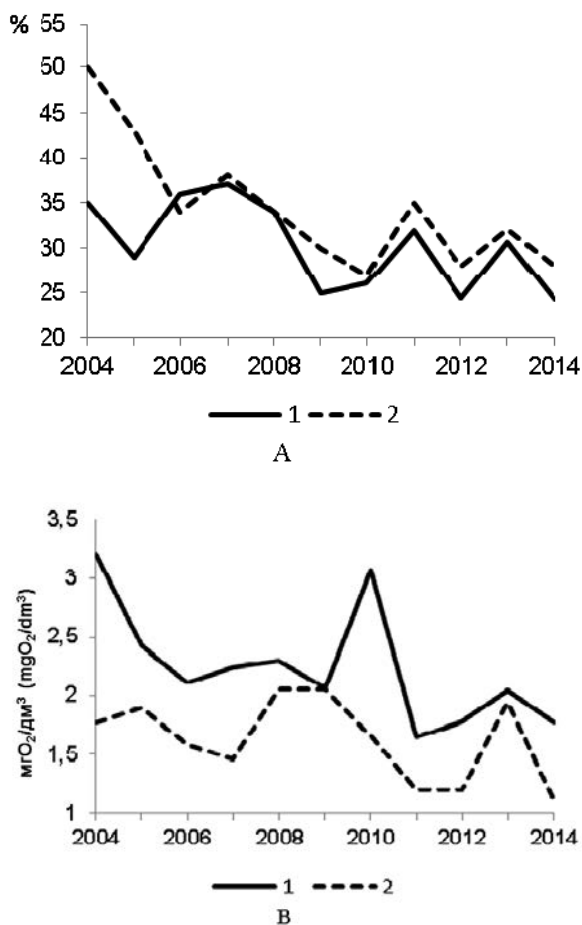


Рис. 3. Динамика перманганатной окисляемости (А) и ХПК (В) в воде Волгоградского (1) и Саратовского (2) водохранилищ в период 2004–2014 гг.

Fig. 3. Dynamics of permanganate oxidation (PO) (A) and COD (B) in Volgograd (1) and Saratov (2) reservoirs in 2004–2014.

ПО к ХПК за период с 2004 по 2014 гг. имеет отрицательный тренд (Рис. 4А), более выраженный для Саратовского водохранилища (коэффициент детерминации  $R^2 = 0.63$  при  $p = 0.05$ ), что свидетельствует о снижении доли аллохтонной органики в общем органическом веществе в исследуемый период.

Пределы колебания величины БПК<sub>5</sub>, характеризующей легкоокисляемое ОВ, в рассматриваемый период составили 0.3–6.5 мг/дм<sup>3</sup>. Минимальные значения БПК<sub>5</sub> регистрировали при низком уровне продукционных процессов в раннев-



**Рис. 4.** Колебания значений ПО/ХПК (А) и динамика значений БПК<sub>5</sub> (В) в период 2004–2014 гг в Волгоградском (1) и Саратовском (2) водохранилищах.

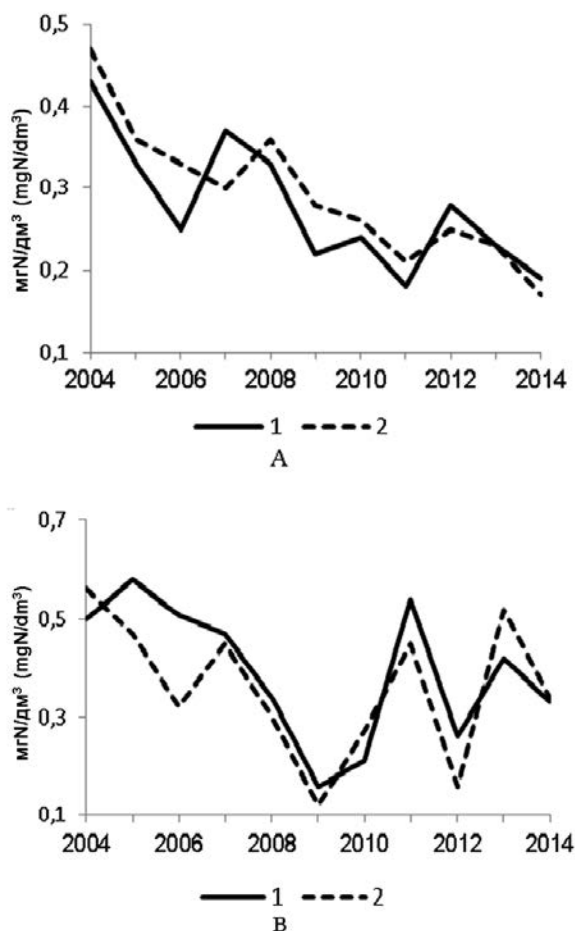
**Fig. 4.** Fluctuations in the values PO/COD (A) and dynamics of BOD<sub>5</sub> (B) in 2004–2014 in Volgograd (1) and Saratov (2) reservoirs.

сенний и позднесенний периоды, максимальные – в летние месяцы, в результате образования автохтонной органики при биопродукционных процессах. В Волгоградском водохранилище повышенные концентрации БПК<sub>5</sub> в отдельные годы отмечали и осенью в районе влияния г. Саратова, и они были, видимо, связаны с поступлением легкоокисляемой органики со сточными водами. В этом же районе были отмечены и минимальные величины БПК<sub>5</sub> (0.3 мг/дм<sup>3</sup>), что, возможно, было признаком торможения биохимических процессов в результате влияния токсичных веществ антропогенного происхождения. Средние значения БПК<sub>5</sub> за летний период рассматриваемых лет

свидетельствуют о более высоком уровне биологической продуктивности в Волгоградском водохранилище (Рис. 4В). Тенденция уменьшения среднелетних значений просматривается в двух водоемах, но для Волгоградского водохранилища трендовая модель имеет коэффициент детерминации 0.37 при  $p = 0.05$ , для Саратовского коэффициент детерминации линии тренда более низкий. Иными словами, в Волгоградском водохранилище на долю отрицательного тренда приходится 37% вариации значений БПК<sub>5</sub>, а в Саратовском это количество еще ниже.

Многолетние колебания концентраций соединений минерального азота (одного из двух основных биогенных элементов, влияющих на биологическую продуктивность) в исследуемых водохранилищах происходят на одном уровне. В рассматриваемый период наблюдается снижение содержания аммонийного азота (Рис. 5А). Трендовая модель динамики этого показателя имеет коэффициент детерминации для Волгоградского водохранилища 0.57, для Саратовского – 0.83 при  $p < 0.05$ . Концентрации аммонийного азота как в многолетнем, так и в сезонном аспекте колеблются в более узких пределах, чем нитратного. Содержание нитратов в водохранилищах, как правило, имеет четкую сезонную динамику. Максимальные концентрации регистрируются в весенний период, за счет присутствия трансформированных зимних вод, а также влияния терригенного стока с паводком. Летом наблюдается существенное снижение концентрации нитратного азота вследствие его потребления гидробионтами, осенью содержание нитратов возрастает. В осенний период часто наблюдается стратификация по нитратам, в последние годы – существенная. Выявленного многолетнего тренда нитратного азота не наблюдается. (Рис. 5В). В то же время в динамике суммарного минерального азота, хотя нитраты являются его доминирующей формой, наблюдается отрицательный тренд, благодаря вкладу аммонийного азота с  $R^2 = 0.50$  для Волгоградского водохранилища и  $R^2 = 0.38$  для Саратовского. Колебания среднесезонных концентраций форм минерального азота и суммарного минерального азота в водохранилищах происходят синхронно с высокими коэффициентами корреляции: 0.81–0.89.

С 2008 г. в исследуемых водохранилищах наблюдается увеличение числа проб с превышением



**Рис. 5.** Многолетняя динамика аммонийного (А) и нитратно-азота (В) в Волгоградском (1) и Саратовском (2) водохранилищах.

**Fig. 5.** Long-term dynamics of ammonium (A) and nitrate (B) nitrogen in Volgograd (1) and Saratov (2) reservoirs.

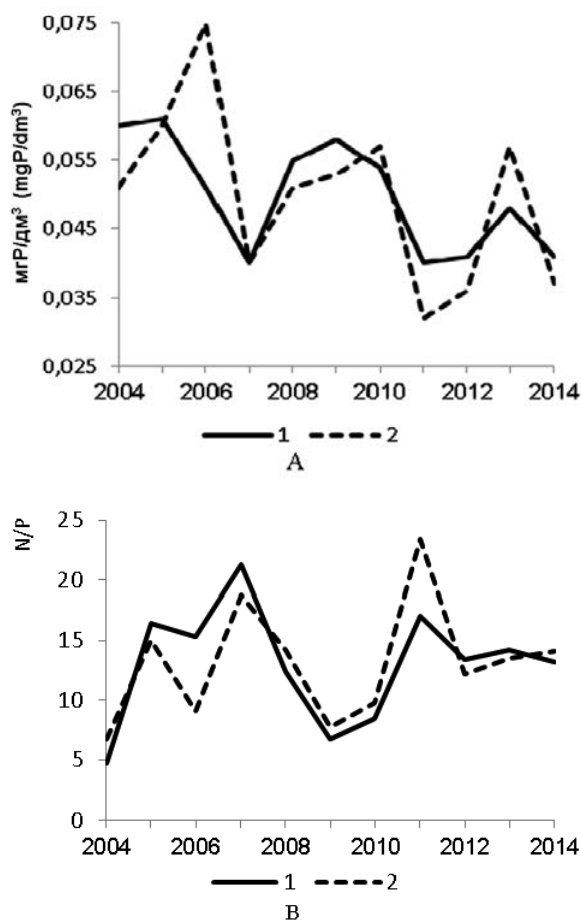
рыбохозяйственных ПДК по нитритам, в некоторых случаях нормативы были превышены в 14 раз. В Саратовском водохранилище в 2010 г. количество проб с превышением ПДК по нитритам составило 22%, в 2011 г. – 68%, в 2012 г. – 44%, в 2013 г. – снизилось до 7%. В Волгоградском водохранилище доля проб с превышением норм колебалась в пределах 10–21%. Вследствие неустойчивости этого соединения в водохранилищах с нормальным кислородным режимом концентрации нитритов, как правило, незначительны. Зарегистрированное нарушение скорости процесса нитрификации в исследуемых водохранилищах может быть связано с увеличением их токсического загрязнения.

Концентрации минерального фосфора (второго важнейшего для развития фитопланктона биогенного элемента) в исследуемых водохранилищах колебались в одних пределах: 0.016–0.110 мг/дм<sup>3</sup>. В многолетней динамике фосфатов также наблюдается отрицательный тренд, более выраженный в Волгоградском водохранилище ( $R^2 = 0.42$ ) по сравнению с Саратовским ( $R^2 = 0.24$ ) (Рис. 6А). Как отмечалось в предыдущих исследованиях (Котляр и др. [Kotlyar et al.] 2004), в Волгоградском водохранилище в годы высокой водности происходит снижение содержания минерального фосфора; при уменьшении водного стока концентрация фосфора возрастает. Установлена статистически достоверная отрицательная связь содержания фосфора с водностью года с коэффициентом корреляции – 0.51. В исследуемый нами период 2004–2014 гг. аналогичная закономерность отмечена для двух водохранилищ, но достоверная отрицательная связь между этими показателями не установлена. Выявленная тенденция позволяет предположить, что доминирующим источником генезиса фосфора для двух водохранилищ являются внутриводоемные процессы.

Нормальное функционирование водных экосистем зависит не только от абсолютных концентраций соединений минеральных форм азота и фосфора, но и от их соотношения. Считается, что снижение N/P свидетельствует об эвтрофикации водоема (Алекин и др. [Alekin et al.] 1985). В нашем исследовании установлена противоположная тенденция (Рис. 6 В).

За исследуемый период отмечены существенные колебания концентраций железа с тенденцией повышения его среднегодового содержания. Количество кремния в воде водохранилищ зависит от интенсивности развития диатомовых водорослей, а также от создания условий в придонном слое воды для его масс-переноса из донных отложений (Йоргенсен [Jorgensen] 1985). До 2008 г. наблюдались более высокие концентрации кремния, которые колебались в диапазоне 3.7–4.9 мг/дм<sup>3</sup>, затем его среднегодовое содержание снизилось до 2.9–3.7 мг/дм<sup>3</sup>.

Анализ корреляционных отношений между различными гидрохимическими и гидрологическими показателями позволяет выявить общность процессов для всей экосистемы и закономерности трансформации химических элементов в процессе их миграции, а также в какой-то мере прогнозиро-



**Рис. 6.** Динамика минерального фосфора (А) и отношения N/P (В) в Волгоградском (1) и Саратовском (2) водохранилищах.

**Fig. 6.** Dynamics of mineral phosphorus (A) and the N/P – ratio (B) in Volgograd (1) and Saratov (2) reservoirs.

вать направление этих процессов и источники поступления трофических компонентов в водоемы. В Табл. 2 представлены уравнения регрессии и коэффициенты корреляции, связывающие наиболее значимые гидрохимические показатели в исследованных водохранилищах. Рассматривались только те зависимости, уровень значимости которых ниже 0.05.

Корреляционные отношения, связывающие величину водного стока через гидроузел, перманганатную окисляемость и соединения азота, указывают на определенную долю терригенных источников в балансе минеральных форм азота. Уменьшение количества паводковых вод, приносящих биогены и органическое вещество с водосбора, вызывают уменьшение концентраций

аммонийного азота, нитратов и суммарного минерального азота. В Волгоградском водохранилище более низкие скорости течения и, соответственно, больший прогрев водной массы обеспечивают более высокий биопродукционный уровень и усложняют связи между гидрохимическими показателями.

В то же время значительную долю (29–68%) изменчивости гидрохимических показателей можно отнести к другим неучтенным факторам. Следует предположить, что одним из этих факторов является прогрессирующее зарастание водохранилищ высшей водной растительностью (Шашуловский, Мосияш [Shashulovskiy, Mosiyash] 2010). Специфика макрофитов позволяет депонировать в своих тканях значительные количества химических соединений, выводя их из биотического круговорота. Как показано в работе С.А. Остроумова ([Ostroumov] 2013), даже мортмасса водных макрофитов способна иммобилизовать химические соединения.

Первичным откликом водной экосистемы на изменение ее трофических характеристик является состояние фитопланктонного сообщества. Учитывая отрицательные тренды главных трофических характеристик экосистем исследуемых водохранилищ, можно было бы ожидать изменений количественных характеристик фитопланктона. Тем не менее, ежегодные изменения суммарной биомассы фитопланктона существенны, но выраженного тренда ее колебаний не наблюдается, о чем сообщалось нами ранее (Далечина и др. [Dalechina et al.] 2012). В то же время отмечены отчетливые тренды снижения биомассы зеленых водорослей (Chlorophyta) и роста биомассы цианобактерий (Мосияш и др. [Mosiyash et al.] 2014). Видимо, вследствие изменения гидрологических условий при снижении водного стока (прогрев водной толщи, замедление скоростей течения) происходит перестройка планктонного сообщества, количественные характеристики которого обеспечиваются пониженным уровнем трофических компонентов экосистем Саратовского и Волгоградского водохранилищ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, за период 2004–2014 гг. отмечено снижение среднесезонных концентраций аллохтонного органического вещества, соедине-



**Таблица 2.** Зависимости между гидрологическими и гидрохимическими показателями Саратовского и Волгоградского водохранилищ.**Table 2.** The correlations among the hydrological and hydrochemical indicators of the Saratov and Volgograd reservoirs.

Водохранилище/ reservoir	Показатели/ Indicators	Уравнение регрессии/ The regression equation	Коэффициент корреляции/ The correlation coefficient
Саратовское (Saratov)	Сток (X) и ПО (Y) (Runoff (X) and PO(Y))	$Y=0.023X+2.86$	0.61
	ПО (X) и N-NH <sub>4</sub> (Y) (PO (X) and N-NH <sub>4</sub> (Y))	$Y=0.057X-0.172$	0.84
	ПО (X) и ΣN (Y) (PO (X) and ΣN (Y))	$Y=0.108X-0.205$	0.72
	ПО (X) и БПК <sub>5</sub> (Y) (PO (X) and BOD <sub>5</sub> (Y))	$Y=0.112X+0.57$	0.64
Волгоградское (Volgograd)	Сток (X) и N-NH <sub>4</sub> (Y) (Runoff (X) and N-NH <sub>4</sub> (Y))	$Y=0.002X-0.109$	0.65
	Сток (X) и ΣN(Y) (Runoff (X) and ΣN (Y))	$Y=0.004X-0.189$	0.57
	ПО (X) и N-NO <sub>3</sub> (Y) (PO (X) and N-NO <sub>3</sub> (Y))	$Y=0.073X-0.207$	0.63
	ПО (X) и ΣN(Y) (PO (X) and ΣN(Y))	$Y=0.108X-0.204$	0.67

ний минерального азота и фосфора. Одной из основных причин изменения количественных показателей указанных гидрохимических компонентов рассматриваемых водохранилищ, является снижение величины годового водного стока. Высокие коэффициенты корреляции между содержанием соединений минерального азота и ПО в Саратовском и Волгоградском водохранилищах свидетельствуют об аналогичных доминирующих источниках их генезиса. Показатели, характеризующие содержание автохтонной органики, изменяются в рассматриваемых водохранилищах независимо друг от друга; при этом колебания ХПК и БПК<sub>5</sub> в Волгоградском водохранилище происходят на более высоком уровне, свидетельствуя о более интенсивных биопродукционных процессах.

## ЛИТЕРАТУРА

- Alekin O.A., Drabkova V.G. and Kaplan-Dix I.S. 1985.** Eutrophication of the continental waters: Anthropogenic eutrophication of natural waters. Materials of 3th All – Union Symposium. Chernogolovka: 25–34. [In Russian].
- Dalechina I.N., Mosiyash S.A. and Filimonova I.G. 2012.** Phytoplankton and nutrients of the Volgograd reservoir of the Volga river Basin in XX1 century. Materials of reports of All-Russia conference: The structure and functioning of reservoir ecosystems. Borok: 54–57. [In Russian].
- Filippov O.V., Kochetkova A.I., Baranova S.M. and Bryzgalina E.S. 2015.** Current state and problems of water supply in the Volga-Akhtuba floodplain. *Facets of knowledge*, 4(38): 31–41. [In Russian].
- Fortunatov M.A. 1970.** Typification and grouping of reservoirs of various economic purposes. Proceedings of Intercollege scientific conference concerning studying of influence of reservoirs on nature and agriculture kuraymah territories. Kalinin: 8–12. [In Russian].
- Gerasimova N.A. 1996.** Phytoplankton Saratov and Volgograd reservoirs. Tolyatti, 200 p. [In Russian].
- Gorin Y.I. 1972.** Some features of the hydrological regime of the Saratov reservoir. *Materialy Instituta Vnutrennih Vod Akademii Nauk SSSR*, 23(26): 193–198. [In Russian].
- Goryaynov V.V., Filippov O.V., Plyakin A.V. and Zolotarev D.V. 2007.** Ecological safety of natural-economic systems of Volga – Akhtuba floodplain: structure and organization of monitoring of the water regime. Volgograd scientific publishing house, Volgograd, 96 p. [In Russian].

- Informational** system of Russia on water resources and water industry of the Russian river basins. <http://gis.vodinfo.ru> [In Russian].
- Jørgensen S.E. 1985.** Management of the lake ecosystems. Agropromizdat, Moscow, 160 p. [In Russian].
- Kotlyar S.G., Lysina N.N., Mosiyash S.S. and Shashulovskaya E.A. 2004.** Ecosystem approach to the regulation of concentrations of nutrients in the pond. *The scientific notebooks of the FSSI GosNIORKh*, 9: 36 p. [In Russian].
- Mosiyash S.A., Shashulovskaya E.A., Dalechina I.N. and Jane E.A. 2014.** Analysis of long-term changes of the trophic components of the ecosystem closing the reservoirs of the Volga cascade. In: Algae: problems of taxonomy, ecology and use in monitoring. Materials of 3th International scientific conference. The biology of inland waters. Yaroslavl: 223–225. [In Russian].
- Ostroumov S.A. 2013.** Modern development of some ideas of V. I. Vernadsky. *Proceedings of Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences*, 15(3): 17–22. [In Russian].
- Pautova V.N. 2003.** Physical features of the study area and Limnological characteristics of reservoirs. In: Phytoplankton of the Lower Volga. Reservoir and the lower reaches of the river. Nauka, Saint Petersburg: 7–33. [In Russian].
- Shashulovskiy V.A. and Mosiyash S.S. 2010.** The formation of biological resources of the Volgograd reservoir in the course of succession of its ecosystem. KMK, Moscow, 250 p. [In Russian].
- The Register of methods** of quantitative chemical analysis and assessment the state of environmental objects made for the state environmental control and monitoring (NPND F) URL: <http://fcao.ru/metodiki-kkha.html> (date of access: 1.12.2015). [In Russian].

Представлена 20 января 2016; принята 15 июля 2016.