

УДК 614.7:613.3

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ УЧАСТКОВ НИЖНЕЙ ВОЛГИ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКОМУ РЕЖИМУ

© 2016 Е.А. Шашуловская¹, С.А. Мосияш¹, А.А. Орлов², Л.Н. Фокина³

¹ ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга», Саратовское отделение

² ФБУН «Саратовский научно-исследовательский институт сельской гигиены» Роспотребнадзора

³ ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга», Волгоградское отделение

Статья поступила в редакцию 09.12.2016

Рассмотрено изменение качества воды в замыкающем плесе Волгоградского водохранилища и незарегулированном участке Нижней Волги в многолетнем аспекте. Зарегистрировано снижение концентраций органического вещества и соединений минерального азота в приплотинном плесе Волгоградского водохранилища и увеличение содержания этих веществ в речном участке р. Волги в 2015 году по сравнению с 1989 годом. Показано, что возможными причинами изменения рассматриваемых показателей могут быть многолетнее уменьшение величины водного стока, сукцессионные процессы и снижение антропогенного пресса в последние десятилетия в связи со спадом промышленного производства. В качестве критерия «здоровья» водной экосистемы предложено использовать показатель пластичности (усредненный модуль $\left| r_i \right|$ коэффициентов корреляции гидрохимических параметров).

Ключевые слова: качество воды, органическое вещество, биогенные элементы, Волгоградское водохранилище, речной участок р. Волги, коэффициенты корреляции.

Экологическое состояние водоисточников в значительной степени влияет на условия питьевого и бытового водопользования городского и сельского населения. Неблагоприятное развитие водных экосистем, ухудшающее качество воды поверхностных водоемов, является фактором возникновения инфекционных, паразитарных и неинфекционных заболеваний, в т. ч. и канцерогенной природы, нарушений механизмов наследственности, влияющих на популяционные характеристики здоровья [1, 2].

Поверхностные воды, вследствие различного антропогенного воздействия, как на водосборе, так и в водоеме, изменяют свое качество. Качество вод принято оценивать с точки зрения конкретных водопотребителей, требования у которых к свойствам вод могут существенно различаться. Единого универсального критерия для оценки антропогенного воздействия на водоем не существует. Тем не менее, каждый конкретный водоем представляет собой водную экосистему, оценка «здоровья» которой представляет собой

сложную задачу. Очевидно, что если водная экосистема функционирует устойчиво, то она способна поддерживать определенный гомеостаз, и качество вод в «здоровой» экосистеме можно считать соответствующим требованиям и для сохранения здоровья человека [3].

В настоящем исследовании рассматривались следующие задачи:

Оценить долговременные изменения гидрохимических характеристик замыкающего Волжский каскад плеса Волгоградского водохранилища и незарегулированного участка Волги ниже плотины Волжского гидроузла.

На основании произошедших изменений качества воды в водных экосистемах одного региона, но различающихся по гидрологическому режиму, оценить возможность применения некоторых статистических критериев для оценки «здоровья» водной экосистемы.

Исследования проводили в 1989 и 2015 гг. в весенний (наибольшее влияние водосбора) и летний (максимальное развитие биопродукционных процессов) периоды в приплотинном плесе Волгоградского водохранилища и незарегулированном участке Волги ниже плотины Волжского гидроузла. Обработка гидрохимического материала осуществлялась по общепринятым методикам.

Водоохранилища Волжско-Камского каскада являются важнейшими пресноводными водоемами России. Они расположены в густонаселенном районе страны с интенсивно развитой промышленностью и высокой концентрацией

Шашуловская Елена Александровна, кандидат биологических наук, заведующая сектором гидрохимии и экологической токсикологии. E-mail: shash.elena2010@yandex.ru
Мосияш Светлана Александровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник сектора гидрохимии и экологической токсикологии.

Орлов Александр Александрович, доцент, кандидат биологических наук, руководитель лаборатории гигиены воды.
Фокина Людмила Николаевна, заведующая лабораторией гидрохимии и токсикологии.

городского и сельского населения. В Волжском каскаде Волгоградское водохранилище является самым южным, замыкающим и аккумулирующим потоки веществ из выше расположенных участков бассейна. На его базе осуществляется водопользование и водоотведение крупных промышленных центров (гг. Балаково, Вольск, Энгельс, Саратов) и многочисленных сел и поселков, расположенных в прибрежной зоне.

Приплотинный плес Волгоградского водохранилища характеризуется наибольшим объемом водной массы, максимальными глубинами, самыми низкими на водохранилище скоростями течения (0,06-0,7 м/с). В конце 80-х годов прошлого столетия в приплотинный плес Волгоградского водохранилища поступали сточные воды от предприятий текстильной, машиностроительной и лакокрасочной промышленности. По сравнению с объемом сточных вод, поступающих в водохранилище в целом, объем стоков, сбрасываемый непосредственно в этот участок небольшой, однако приплотинные плесы водохранилищ являются аккумуляторами загрязнений [4]. Тонкодисперсные взвеси, на поверхности которых адсорбируются многие загрязняющие вещества, проходящие транзитом водохранилище, оседают и поступают в донные отложения плеса, вызывая вторичное загрязнение вод.

По результатам наших исследований, кислородный режим в рассматриваемые годы в приплотинном плесе был благоприятным. Переизбыток кислорода в поверхностном горизонте наблюдался в весенний и летний периоды. Летом отмечалась стратификация кислорода с дефицитом в придонном слое, при этом его концентрации, как экстремальные, так и средние, в исследуемые годы были близки (табл. 1). Содержание в воде органического вещества оценивали по показателям цветности, перманганатной и бихроматной окисляемости, БПК₅. Величины цветности, перманганатной окисляемости, дающие представление, в основном, о содержании гуминовых веществ, и показатели БПК₅ и бихроматной окисляемости, характеризующие лабильное и общее органическое вещество, в 1989 году были более высокие. В 1989 году были выше экстремальные и средние концентрации соединений минерального азота. Одной из основных причин изменения количественных значений указанных гидрохимических показателей является снижение величины годового водного стока. При анализе динамики этих показателей в Волгоградском водохранилище за период 2004-2014 гг. [5] выявлены корреляционные отношения, связывающие величину водного стока, перманганатную окисляемость и соединения азота, что указывает на определенную долю терригенных источников в балансе этих веществ.

В весенний период в исследуемые годы наблюдались более высокие концентрации общего

органического вещества, аммонийного азота и нитратов как следствие влияния поверхностного стока в паводковый период. Летом, в период максимального развития биопродукционных процессов, концентрация этих веществ снижалась. В рассматриваемые годы отмечено высокое содержание нитритного азота. Так как нитриты – неустойчивые соединения, их присутствие в значительных концентрациях может свидетельствовать о торможении биохимических процессов токсическими веществами. Во всех пробах воды в 1989 году, как в весенний, так и летний периоды присутствовали фенолы, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты. В последние годы по нашим данным в целом по водохранилищу эти вещества не обнаруживаются.

Гидрологические условия на участке незарегулированной Волги ниже плотины Волжского гидроузла характеризуются интенсивным течением, наличием песчаных пляжей и отмелей, зарослей макрофитов в заостровных мелководьях, что обуславливает высокие темпы процессов самоочищения воды. По нашим данным летом 1989 и 2015 гг. содержание кислорода не снижалось ниже 5,6 мг/дм³. В связи с высокой перемешиваемостью водных масс, вертикальная стратификация отсутствовала. Содержание легкоокисляемого органического вещества было существенно ниже, чем в Волгоградском водохранилище. В 2015 году содержание органики по цветности и перманганатной окисляемости, аммонийному и нитратному азоту, было выше, чем в 1989 году и выше, чем в приплотинном плесе Волгоградского водохранилища в этот период. Концентрация фосфатов и в 1989, и 2015 гг. по исследуемому участку была близка к уровню, характерному для Волгоградского водохранилища (табл. 2).

Как особенность этого участка незарегулированной Волги можно отметить пространственную неоднородность химического состава воды, особенно заметную летом 2015 года. Существенны колебания в разных точках отбора содержания хлоридов, сульфатов, органического вещества, азотистых соединений, величин жесткости. Возможной причиной являются неоднородность рельефа и течений в заостровных мелководьях и русле этого участка Волги.

Сравнивая средние значения базовых гидрохимических показателей, являющихся функциональными характеристиками водной экосистемы Нижней Волги за 26 летний период можно констатировать некоторые изменения исследуемых параметров, причем в приплотинном плесе в сторону уменьшения значений, в речном участке – в сторону увеличения. Значения указанных показателей не превышают гигиенических ПДК [6]. Оценка и прогнозирование дальнейших изменений этих характеристик водной экосистемы представляют собой известные трудности. В этом аспекте может быть актуальной проблема

Таблица 1. Химический состав воды в приплотинном плесе Волгоградского водохранилища в весенний и летний периоды 1989 и 2015 гг.

Период наблюдения	1989 г.		2015 г.	
	Весна	Лето	Весна	Лето
	<u>min-max</u> $x \pm m_x$	<u>min-max</u> $x \pm m_x$	<u>min-max</u> $x \pm m_x$	<u>min-max</u> $x \pm m_x$
Температура, С°	<u>10,0 – 14,0</u> 10,8 ± 0,3	<u>22,4 – 25,6</u> 23,8 ± 0,2	<u>14,4 – 15,6</u> 15,1 ± 2,9	<u>21,6 – 22,8</u> 22,0 ± 0,1
pH	<u>7,4 – 7,5</u> 7,5 ± 0,1	<u>7,9 – 9,2</u> 8,3 ± 0,1	<u>8,3 – 8,7</u> 8,5 ± 0,1	<u>6,9 – 8,4</u> 7,7 ± 0,1
Растворенный O ₂ , мг/дм ³	<u>12,6 – 14,9</u> 13,7 ± 0,2	<u>3,5 – 12,6</u> 7,5 ± 0,6	<u>10,8 – 15,6</u> 12,5 ± 0,9	<u>5,4 – 11,8</u> 7,6 ± 0,5
Растворенный O ₂ , % насыщения	<u>112 – 137</u> 124 ± 3	<u>42 – 153</u> 89 ± 5	<u>108 – 153</u> 130 ± 3	<u>62 – 140</u> 91 ± 2
Жесткость общая, ммоль/дм ³	<u>3,7 – 4,0</u> 3,8 ± 0,1	<u>3,2 – 4,5</u> 3,8 ± 0,1	<u>4,1 – 4,8</u> 4,5 ± 0,1	<u>3,8 – 4,3</u> 4,1 ± 0,1
Общая минерализация, мг/дм ³	<u>189 – 386</u> 337 ± 11	<u>274 – 460</u> 315 ± 12	–	–
Цветность, град.	<u>40 – 55</u> 43,8 ± 1,7	<u>30,0 – 55,0</u> 36,3 ± 2,3	<u>10,7 – 20,8</u> 18,0 ± 1,2	<u>14,0 – 24,9</u> 19,6 ± 0,9
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	<u>6,7 – 9,2</u> 7,8 ± 0,2	<u>6,3 – 10,5</u> 8,1 ± 0,3	<u>4,3 – 5,9</u> 5,1 ± 0,2	<u>4,3 – 7,5</u> 5,1 ± 0,2
Бихроматная окисляемость, мгО/дм ³	<u>27,6 – 49,0</u> 38,5 ± 1,7	<u>25,6 – 41,6</u> 30,4 ± 1,2	<u>26,0 – 54,0</u> 30,9 ± 3,6	<u>22,0 – 33,0</u> 25,7 ± 0,9
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	<u>1,2 – 4,6</u> 3,1 ± 0,2	<u>0,6 – 6,7</u> 3,0 ± 0,4	<u>1,6 – 4,0</u> 2,4 ± 0,4	<u>0,3 – 2,9</u> 1,4 ± 0,2
Азот аммония, мг/дм ³	<u>0,02 – 1,07</u> 0,61 ± 0,07	<u>0,12 – 0,72</u> 0,23 ± 0,04	<u><0,04 – 0,43</u> 0,15 ± 0,05	<u><0,04 – 0,20</u> 0,05 ± 0,01
Азот нитритов, мг/дм ³	<u>0,002 – 0,004</u> 0,003 ± 0,001	<u>0,026 – 0,236</u> 0,068 ± 0,012	<u>0,005 – 0,037</u> 0,018 ± 0,004	<u>0,009 – 0,244</u> 0,047 ± 0,015
Азот нитратов, мг/дм ³	<u>0,85 – 1,06</u> 0,98 ± 0,01	<u>0,06 – 1,11</u> 0,53 ± 0,06	<u>0,56 – 0,89</u> 0,75 ± 0,06	<u>0,01 – 0,50</u> 0,26 ± 0,04
Суммарный азот, мг/дм ³	<u>1,02 – 2,07</u> 1,59 ± 0,07	<u>0,36 – 1,88</u> 0,83 ± 0,09	<u>0,59 – 1,07</u> 0,92 ± 0,07	<u>0,09 – 0,73</u> 0,35 ± 0,05
Фосфор фосфатов, мг/дм ³	–	–	<u>0,026 – 0,058</u> 0,042 ± 0,005	<u>0,002 – 0,046</u> 0,026 ± 0,003

Прочерк – означает отсутствие данных

оценки устойчивости, которая является первичным свойством экосистем, обеспечивающим их существование. В общем случае под устойчивостью понимается ее способность противостоять внешним возмущающим воздействиям. Устойчивость (пластичность) в понимании К.С. Холлинга соответствует средней силе корреляционных связей [7]. Таким образом, за величину надежности связи в системе принимается усредненный модуль $|r_i|$ коэффициентов корреляции ее параметров, который может быть интерпретирован как устойчивость (пластичность) [8,9]. Анализ корреляционных отношений между различными гидрохимическими показателями позволяет выявить общность процессов для всей экосистемы и закономерности трансформации химических элементов в процессе их миграции, а также в какой-то мере прогнозировать направление этих

процессов и предположить источники поступления трофических компонентов в водоемы.

При рассмотрении результатов расчета усредненного модуля $|r_i|$ коэффициентов корреляции гидрохимических параметров (пластичности) в нашем исследовании видно, что в 2015 году сила взаимосвязей экосистем приплотинного плеса водохранилища и речного участка Волги была значительно выше, чем в 1989 году (табл. 3). Видимо поступление в водоем значительного количества загрязняющих веществ при уровне промышленного производства в те годы приводила к ослаблению внутренних связей параметров экосистемы. При этом исследуемые участки Волги по этому показателю не отличались. Снижение промышленного производства в последние десятилетия и уменьшение поступления загрязняющих веществ оказало благоприятное действие на

Таблица 2. Химический состав воды в незарегулированном участке Волги ниже Волжского гидроузла в летние периоды 1989 и 2015 гг.

Период наблюдения	1989 г.	2015 г.
Показатель	<u>min-max</u> $x \pm m_x$	<u>min-max</u> $x \pm m_x$
Температура, С°	<u>20,0 – 22,0</u> 21,1 ± 0,2	<u>20,6 – 22,5</u> 21,5 ± 0,7
pH	<u>7,4 – 7,5</u> 7,5 ± 0,1	<u>7,0 – 8,1</u> 7,7 ± 0,2
Растворенный O ₂ , мг/дм ³	<u>7,0 – 8,3</u> 7,7 ± 0,1	<u>5,6 – 7,2</u> 6,3 ± 0,1
Растворенный O ₂ , % насыщения	<u>80 – 95</u> 87 ± 3	<u>63 – 83</u> 72 ± 7
Жесткость общая, ммоль/дм ³	<u>2,6 – 2,7</u> 2,6 ± 0,1	<u>3,1 – 5,6</u> 4,0 ± 0,4
Хлориды, мг/дм ³	<u>39,9 – 48,0</u> 41,7 ± 0,4	<u>35,0 – 117,0</u> 67,8 ± 16,1
Сульфаты, мг/дм ³	<u>26,0 – 34,4</u> 30,8 ± 0,5	<u>54,0 – 142,0</u> 96,5 ± 20,5
Сумма солей, мг/дм ³	<u>198 – 231</u> 208 ± 2	–
Цветность, град.	<u>20,0 – 30,0</u> 24,0 ± 1,2	<u>28,0 – 72,0</u> 49,0 ± 7,8
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	<u>3,4 – 10,2</u> 7,1 ± 0,5	<u>7,0 – 9,4</u> 7,8 ± 0,4
Бихроматная окисляемость, мгО/дм ³	–	<u>16,0 – 60,0</u> 30,3 ± 7,5
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	<u>1,2 – 2,9</u> 1,7 ± 0,1	<u>0,6 – 2,2</u> 1,2 ± 0,3
Азот аммония, мг/дм ³	<u>0,08 – 0,16</u> 0,12 ± 0,01	<u>0,17 – 0,96</u> 0,47 ± 0,13
Азот нитритов, мг/дм ³	0,010 ± 0,001	<u>0,006–0,035</u> 0,016±0,006
Азот нитратов, мг/дм ³	<u>0,09 – 0,19</u> 0,16 ± 0,01	<u>0,29 – 0,43</u> 0,36 ± 0,02
Суммарный азот, мг/дм ³	<u>0,18 – 0,36</u> 0,29 ± 0,01	<u>0,56 – 1,23</u> 0,84 ± 0,12
Фосфор фосфатов, мг/дм ³	<u>0,038 – 0,123</u> 0,070 ± 0,007	<u>0,036 – 0,099</u> 0,065 ± 0,011

Прочерк – означает отсутствие данных

волжскую экосистему. Значение показателя r_i в весенний период в 2015 году было в 2 раза выше, чем в 1989. В 2015 году на приплотинном участке некоторое ослабление взаимосвязей происходило в летний период – период максимального развития биопродукционных процессов и накопления избыточной органики. В речном участке, где в силу гидрологических условий интенсифицированы процессы минерализации и трансформации органического вещества, взаимосвязь между параметрами экосистемы выше.

При интерпретации динамики пластичности водной экосистемы за ряд лет, необходимо иметь в виду, что изменения могут быть обу-

словлены трендом (последовательной сменой) состояний системы в определенном направлении [10]. В таком случае динамика показателя характеризует направленность эволюции системы [11]. В нашем исследовании причиной повышения пластичности экосистемы Нижней Волги, кроме ослабления антропогенного пресса, могут быть сукцессионные процессы и снижение водного стока. Тем не менее, повышенные пластичности водной экосистемы в любом случае свидетельствует о ее «оздоравливании», что является благоприятным явлением с точки зрения использования водного объекта в качестве питьевого водоисточника.

Таблица 3. Значения пластичности $\overline{r_i}$ в разные сезоны исследуемых лет

Период наблюдения	Сезон	Приплотинный плес Волгоградского водохранилища	р. Волга
1989 г.	весна	0,24	–
	лето	0,25	0,25
2015 г.	весна	0,48	–
	лето	0,37	0,48

Прочерк – означает отсутствие данных

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эльпинер Л.И. О влиянии водного фактора на состояние здоровья населения России // Водные ресурсы. 1995. Т.22. № 4. С. 418-425.
2. Онищенко Г.Г. О состоянии и мерах по обеспечению безопасности хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2010. № 3. С.4-7.
3. Моисеенко Т.И. Водная токсикология: теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
4. Котляр С.Г., Кузина Е.Г., Шашуловская Е.А. Характеристика качества воды, донных отложений и рыбы нижнего участка Волгоградского водохранилища в 2000-2001 гг. // Материалы Всерос. научно-практич. конференции «Экологические проблемы загрязнения водоемов Волжского бассейна, современные методы и пути их решения», Волгоград, 2004. С.92-93.
5. Гидрохимические основы биологической продуктивности в замыкающих водохранилищах Волжского каскада/Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, И.Г. Филимонова, Л.В. Гришина, Е.Г. Кузина // Труды Зоологического института РАН. 2016. Т. 320. № 3. С. 367-376.
6. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» URL: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/sanpin/8.pdf (дата обращения: 24.11.2016).
7. Holling C. S. Resilience and stability of ecological systems // Ann.Rev.Ecol.Syst. 1973. № 4. P.1-23.
8. Михайловский Г.Е. Термодинамические аспекты системного подхода к экологии // Человек и биосфера. Вып. 2. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 103-123.
9. Михайловский, Г.Е. Биосфера и человеческое общество // Человек и биосфера. Вып. 6. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 78-101.
10. Шашуловский В.А., Мосияш С.С. Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессии его экосистемы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 249 с.
11. Гродзинский М.Д. Устойчивость геосистем: теоретический подход к анализу и методы количественной оценки // Изв. АН СССР. Сер. география. 1987. № 6. С. 5-15.

LONG-TERM CHANGES OF WATER QUALITY SITES IN THE LOWER VOLGA, WHICH DIFFER IN HYDROLOGICAL REGIME

© 2016 E.A. Shashulovskaya¹, S. A. Mosiyash¹, A. A. Orlov², L. N. Fokina³

¹ FSBI “State Institute of Lake and River Fishery named after L.S. Berg”, Saratov Office

² The Institute “Saratov Research Institute of Rural Hygiene”, Rospotrebnadzor

³ FSBI “State Institute of Lake and River Fishery named after L.S. Berg”, Volgograd Office

It is considered a change to water quality in the closing part of the Volgograd reservoir and unregulated part of the Lower Volga in temporary aspect. Decrease in concentration of organic substance and compounds of mineral nitrogen in a dam reach of the Volgograd reservoir and increase in concentration of these substances in the river section of the Volga River in 2015 in comparison with 1989 is registered. It is shown that possible reasons for the change of the considered indicators can be a long-term decrease in water flow, successional processes and reduce anthropogenic pressure in the last 26 years in connection with the decline in industrial production. It is proposed to use the indicator of plasticity ecosystems (averaged module of correlation coefficients of hydrochemical parameters) as a criterion of the “health” of aquatic ecosystems. **Keywords:** water quality, organic matter, nutrients, Volgograd reservoir, river area of the Volga river, the correlation coefficients.

Elena Shashulovskaya, Candidate of Biological Sciences, Head of Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector. E-mail: shash.elena2010@yandex.ru

Svetlana Mosiyash, Candidate of Biological Sciences, Senior Research Fellow at the Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector.

Aleksandr Orlov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head at the Laboratory of Hygiene of Water.

Lyudmila Fokina, Head at the Laboratory of Hydrochemistry and Toxicology.