

УДК 574.5

КОНЦЕНТРАЦИЯ ФОСФАТОВ В ВОЛЖСКОЙ ВОДЕ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

© 2019 А.В. Селезнева

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия)

Поступила 23.02.2019

Исследована сезонная изменчивость содержания растворенных фосфатов в волжской воде по данным многолетних наблюдений в условиях антропогенного эвтрофирования водохранилищ. Установлено, что амплитуда сезонных изменений фосфатов зависит от интенсивности массового развития водорослей. В маловодные годы концентрации фосфатов и хлорофилла-«а» изменяются в противофазе.

Ключевые слова: река Волга, водный стока, биогенная нагрузка, антропогенное эвтрофирование, маловодье, фосфаты, хлорофилла-«а».

Selezneva A.V. Phosphate concentration in the Volga water in conditions of anthropogenic eutrophication of reservoirs. - Seasonal variability of dissolved phosphate content in the Volga water according to long-term observations under conditions of anthropogenic eutrophication of reservoirs is investigated. It was found that the amplitude of seasonal changes in phosphates depends on the intensity of mass development of algae. In dry years, the concentrations of phosphates and chlorophyll-"a" change in the antiphase.

Key words: Volga river, water regulation, nutrient load, anthropogenic eutrophication, water shortage, phosphates, chlorophyll.

ВВЕДЕНИЕ

Фосфатам принадлежит особая роль в формировании первичной продукции и функционировании водных экосистем в условиях антропогенного эвтрофирования. Недостаток фосфатов ограничивает, а их избыток, наоборот, вызывает массовое развитие водорослей, что приводит к ухудшению качества воды.

В 50-х годах прошлого века концентрация фосфатов в волжской воде колебалась в пределах 0,002-0,020 мгР/дм³, однако подметить какую-либо сезонную закономерность в этих изменениях не представлялось возможным (Зенин, 1965). По мере роста антропогенного воздействия (регулирование стока и увеличение биогенной нагрузки) концентрация фосфатов существенно увеличилась (Селезнева, 2007; Селезнева и др., 2010), а вот закономерности сезонной изменчивости изучены не достаточно. Цель исследования – дать количественную оценку сезонной изменчивости фосфатов в

условиях антропогенного эвтрофирования на основе данных многолетних наблюдений, полученных на р. Волга в районе Жигулевской плотины.

НАБЛЮДЕНИЯ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Наблюдения проводились на р. Волге в районе Жигулевской плотины. Выше по течению от плотины расположено Куйбышевское, а ниже – Саратовское водохранилище. Гидрохимические наблюдения проводились ежемесячно в период 2000-2016 гг. в соответствии с рекомендациями Росгидромета (РД 52.24.309-2004). Отбор проб воды для химического анализа осуществлялся батометром Молчанова ГР-18. Пробы воды фильтровались немедленно после отбора: для анализа фосфатов через мембраны «ВЛАДИПОР типа МФАС-ОС-2» с порами 0,45 мкм; для определения хлорофилла-«а» – через мембраны «ВЛАДИПОР» типа МФА-МА» с порами 0,6–0,9 мкм. Фильтрованная вода переливалась в бутылки, изготовленные из химически стойкого стекла с притертыми пробками. Перед отбором пробы бутылки дважды ополаскивались водой, подлежащей анализу, и заполнялись ею доверху (ГОСТ 31861-2012).

Селезнева Александра Васильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

В волжской воде растворенный неорганический фосфор находится преимущественно в виде производных ортофосфорной кислоты H_3PO_4 , при этом основной формой неорганического фосфора при pH выше 6,5 является HPO_4^{2-} (далее «фосфаты») (Алекин, 1970). В Куйбышевском и Саратовском водохранилищах преобладают диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли. Хлорофилл-«а» является репрезентативным индикатором биомассы водорослей (Алимов и др., 1979) и мерой эвтрофирования водоемов при измерении откликов водоемов на биогенную нагрузку. Измерение концентрации фосфатов выполнялось фотометрическим методом (РД 52.24.382-2006), а определение концентрации хлорофилла-«а» – методом спектро-

$$I^1 = (C_{\max} - C_{\text{cp}}) / \sigma,$$

В том случае, если $I^1 \geq I_n$ или $I^2 \geq I_n$ (где I_n – нормативное значение (РД 52.24.622-2001), то взятое для анализа экстремальное значение концентрации вещества исключалось из рассматриваемого ряда данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам статистического анализа данных наблюдений за период 2000-2016 гг. установлено, что средние месячные концентрации фосфатов (C_{cp}) внутри года изменялись в 3,3 раза от 0,029 до 0,095 мгР/дм³ (табл. 1). Ле-

фотометрирования экстракта пигмента (ГОСТ 17.1.4.02-90) в аккредитованной лаборатории мониторинга водных объектов Института экологии Волжского бассейна РАН.

Полученные данные по концентрации фосфатов формировались в ряды, которые подвергались статистической обработке с использованием программы Statistica v 6.0 фирмы Stat Soft Lnc (США). Для каждого месяца за 17 лет наблюдений определялись: среднее (C_{cp}), максимальное (C_{\max}) и минимальное (C_{\min}) значения концентрации фосфатов и среднее квадратичное отклонение (σ). Предварительно, из сформированных рядов исключались непоказательные экстремальные значения. Для этого рассчитывались величины I^1 и I^2 по формулам:

$$I^2 = (C_{\text{cp}} - C_{\min}) / \sigma,$$

том (июнь-июль) наблюдались низкие 0,029–0,031 мгР/дм³, а осенью (октябрь-ноябрь) высокие 0,089–0,095 мгР/дм³ концентрации фосфатов в волжской воде. Максимальные средние месячные концентрации (C_{\max}) фосфатов внутри года изменялись в 2,8 раза в пределах 0,052–0,146 мгР/дм³, минимальные (C_{\min}) – в 5,8 раз в пределах 0,010–0,058 мгР/дм³. Среднее квадратичное отклонение (σ) концентраций от средней месячной величины составило 0,010–0,025 мгР/дм³.

Таблица 1

Статистические характеристики концентрации фосфатов, мг/дм³

Месяц	C_{cp}	σ	C_{\max}	C_{\min}
январь	0,074±0,009	0,015	0,113	0,037
февраль	0,074±0,009	0,010	0,095	0,058
март	0,074±0,009	0,015	0,107	0,052
апрель	0,064±0,008	0,017	0,087	0,052
май	0,047±0,006	0,025	0,122	0,010
июнь	0,029±0,005	0,011	0,052	0,011
июль	0,031±0,005	0,014	0,056	0,010
август	0,043±0,006	0,022	0,070	0,025
сентябрь	0,066±0,008	0,023	0,109	0,017
октябрь	0,089±0,011	0,025	0,146	0,042
ноябрь	0,095±0,011	0,022	0,136	0,047
декабрь	0,084±0,010	0,017	0,107	0,040

Осредненный за многолетний период сезонный ход концентрации фосфатов имел ярко выраженный волновой характер (рис. 1), «ложбина» волны приходилась на летний, а «гребень» – на осенний период. В период зимней межени концентрация фосфатов практически не менялась, в апреле концентрация начинала снижаться под воздействием диатомовых водорослей и достигала наименьших значений в июне-июле в период массового развития сине-зеленых водо-

рослей. Затем концентрация фосфатов начинала постепенно увеличиваться и достигала наибольших значений в ноябре, когда развитие водорослей полностью прекращалось. Следовательно, волновой характер сезонной изменчивости концентрации фосфатов, в большей степени, обусловлен процессом развития водорослей. В рамках конкретного года амплитуда и период сезонных колебаний концентрации фосфатов зависели от интенсивности процесса

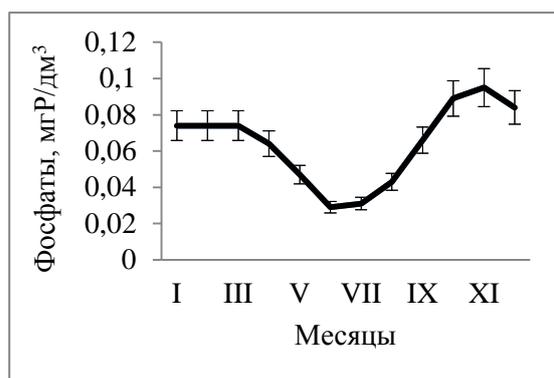


Рис. 1. Сезонная изменчивость концентрации фосфатов

(Г, ± – вертикальные планки погрешностей) массового развития водорослей на водохранилищах. Чем масштабнее и интенсивнее процесс массового развития водорослей, тем больше амплитуда сезонных колебаний концентрации фосфатов в воде. На масштаб и интенсивность развития водорослей значительное влияние

оказывают температура и расход воды на водохранилищах.

Благодаря аномальным погодным условиям, сложившимся летом 2010 г. в бассейне Средней и Нижней Волги, представилась возможность количественно оценить влияние жары и маловодья на увеличение первичной продукции (концентрации хлорофилла-«а») на водохранилище. По данным Всемирной метеорологической организации 2010 г. стал одним из самых жарких за всю историю метеонаблюдений.

Летом 2010 г. температура воздуха была существенно выше, а осадки ниже нормы, что привело к увеличению температуры воды и уменьшению расходов воды на водохранилищах Средней и Нижней Волги по сравнению со смежным 2009 г. (табл. 2). В районе Жигулевской плотины температура волжской воды в 2010 г. была выше на 1,1-3,5°C по сравнению с летом 2009 г. и достигла наибольших значений (23,5°C) в июле 2010 г. Столь высокая температура волжской воды в районе Жигулевской плотины явление крайне необычное.

Таблица 2

Температура волжской воды, °С

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2009	0,1	0,1	0,2	1,5	8,5	17,4	21,0	20,1	18,0	7,0	4,1	0,2
2010	0,1	0,1	0,2	1,2	10,2	20,4	23,5	21,2	18,4	8,4	4,2	0,2

Таблица 3

Расходы волжской воды в створе Жигулевской ГЭС, тыс. м³/с

	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2009	7,4	6,9	5,5	12,2	16,3	6,7	6,0	6,3	5,6	5,5	5,1	5,8
2010	5,8	5,7	5,1	7,9	17,9	7,3	5,3	2,1	4,4	4,2	4,1	4,5

По сравнению с 2009 г. расход воды в августе 2010 г. катастрофически сократился в 3 раза с 6300 до 2100 м³/с (табл. 3). Столь маленького среднемесячного расхода воды в августе не наблюдалось даже в экстремальные маловодные годы (1973, 1975 и 1996). Например, в августе 1996 г. расход воды составил 4900 м³/с, в 1975 г. – 3900 м³/с и в 1973 г. – 3700 м³/с.

Крайне низкие расходы воды на водохранилищах Волги в августе 2010 г. были вызваны не только аномальными погодными условиями, но и регулированием водного стока в период прохождения весеннего половодья, когда расходы воды были необоснованно высокие и составля-

ли: 17900 м³/с в мае и 7300 м³/с в июне. Вероятно, что подобное сезонное регулирование было вызвано недостоверным прогнозом водного стока.

В условиях повышения температуры воды и уменьшения расходов воды были созданы наиболее благоприятные условия для массового развития сине-зеленых водорослей на Куйбышевском и Саратовском водохранилищах. В результате в 2010 г. концентрация хлорофилла-«а» в воде существенно увеличилась (в 2-8 раз) по сравнению со смежным 2009 г. (рис. 2): в июне с 2,67 до 4,85 мг/м³, в июле с 1,02 до 8,56 мг/м³, в августе с 1,68 до 6,62 мг/м³.

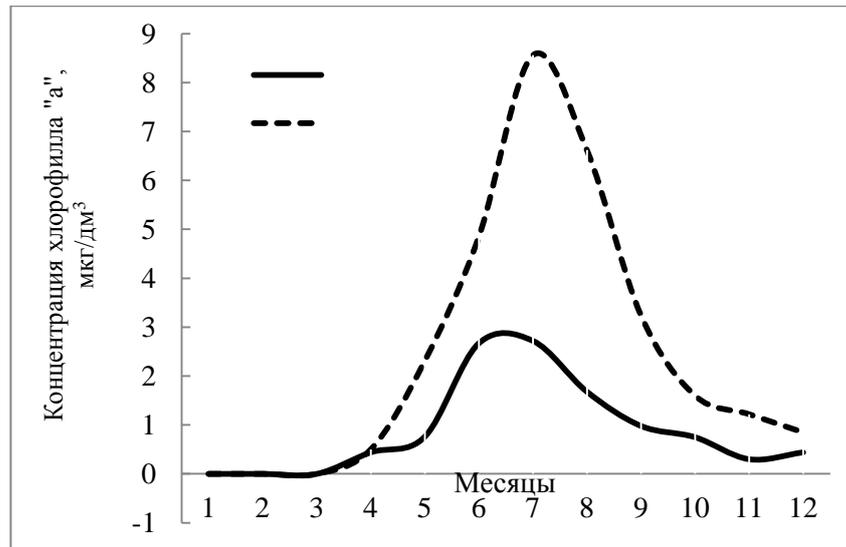


Рис. 2. Сезонные изменения концентрации хлорофилла-«а»
(а – 2009 г.; б – 2010 г.)

В 2010 г. амплитуда сезонных изменений концентрации фосфатов существенно увеличилась и составила 0,010-0,107 мг/дм³, то есть концентрация фосфатов в период массового развития водорослей упала в 10,7 раз. Более того, в маловодном 2010 г. сезонные изменения концентрации фосфатов и хлорофилла-«а» находились в противофазе (рис. 3). После того, как концентрация фосфатов стала ниже 0,010 мг/дм³, развитие водорослей прекратилось. Следовательно, растворенные в воде фосфаты являются критическим фактором развития водорослей на водохранилищах.

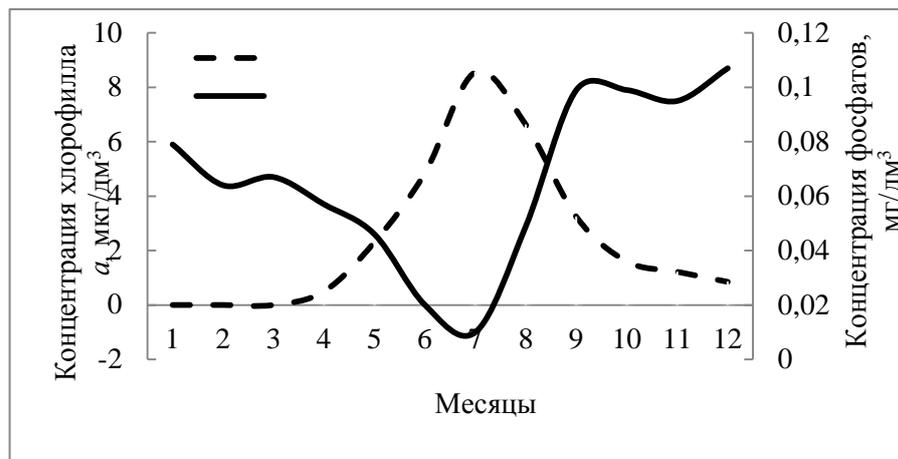


Рис. 3. Сезонные изменения концентрации фосфатов и хлорофилла-«а»
(а – фосфаты; б - хлорофилла-«а»)

ВЫВОДЫ

1. В условиях антропогенного эвтрофирования водохранилищ сезонная изменчивость концентрации фосфатов в воде обусловлена развитием водорослей и имеет волновой характер, когда наименьшие концентрации наблюдаются в летний, а наибольшие - в осенний период.

2. Амплитуда сезонных изменений концентрации растворенных фосфатов в волжской воде зависит от интенсивности развития водорос-

лей или от концентрации хлорофилла-«а» на водохранилищах.

3. При аномальных погодных условиях в 2010 г. (жара и засуха) в бассейне Средней и Нижней Волги концентрация растворенных фосфатов в волжской воде снизилась до нуля и стала лимитирующим фактором развития водорослей в водохранилищах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О.А.** Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 414 с.
- Алимов А.В., Бульон В.В., Гутельмахер В.Л.** Применение биологических и экологических показателей для определения степени загрязнения природных вод // Водные ресурсы. 1979. № 5. С. 1-53.
- ГОСТ 31861-2012.** Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во стандартов, 2013. 36 с.
- ГОСТ 17.1.4.02-90.** Методика спектрофотометрического определения хлорофилла-«а». М.: Изд-во стандартов, 2017. С. 791-801.
- Зенин А.А.** Гидрохимия Волги и её водохранилищ. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 259 с.
- РД 52.24.309-2004.** Рекомендации. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета [Электронный ресурс]: утв. Росгидрометом 28.10. 2004. Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
- РД 52.24.382-2006.** Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерения фотометрическим способом.
- РД 52.24.622-2001.** Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. Л.: Гидрометеоздат, 2001. 64 с.
- Селезнева А.В.** Пространственная неоднородность антропогенной нагрузки на реки / Экология и промышленность России. 2007. № 12. С. 24-27.
- Селезнева А.В., Селезнев В.А.** Проблемы восстановления экологического состояния водных объектов // Водное хозяйство России. 2010. № 2. С. 28-44.