

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ МАЛОВОДЬЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ Р. ВОЛГИ

А.В. Селезнева¹, канд. техн. наук, К.В. Беспалова¹, канд. хим. наук, В.А. Селезнев¹, д-р техн. наук
¹Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия

EXTREMELY SMALL WATER AND THEIR INFLUENCE THE ECOLOGICAL CONDITION OF LARGE RESERVOIRS OF THE RIVER VOLGA

A.V. Selezneva¹, K.V. Bepalova¹, Cand. Sc, V.A. Seleznev¹, Dr. Sc.

¹Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russia

На реке Волга в створе Жигулевской плотины выполнен анализ данных многолетних ежемесячных наблюдений за расходами воды. Определены экстремально маловодные и многоводные годы. Дана оценка влияния минимальных расходов воды на экологическое состояние и качество воды Куйбышевского водохранилища.

The Volga River at the Zhigulevskoj dam data analyzed the multi-year monthly observations of water costs. Defined extremely dry and humid years. Assess the impact of the minimum expenditures on ecological condition of water and water quality of the Kuibyshev reservoir.

Введение.

Массовое развитие водорослей на водохранилищах Средней и Нижней Волги усиливается в маловодные годы и оказывает негативное влияние на формирование качества воды, осложняя использование водоемов в качестве источников питьевого водоснабжения. [1, 2, 3]. На водохранилищах Нижней Волги наибольшая биомасса водорослей (2,61 г/м³) наблюдалась в августе экстремально маловодного 1975 года [4]. Связь между «цветением» воды и водностью отмечалась на Волге и до создания каскада водохранилищ. До зарегулирования р. Волги к экстремально маловодным годам следует отнести: 1901, 1921, 1937, 1938 [5]. По свидетельству заведующего Волжской биостанцией В.П. Зыкова, 1901 г. оказался крайне маловодным. «К концу июля часть Волги против г. Саратова превратилась в замкнутый бассейн, где в огромном количестве развивались сине-зеленые водоросли. Огромным их количество было и в коренной Волге» [6]. Благодаря аномальным погодным условиям, сложившимся в Волжском бассейне летом 2010 г., представилась возможность количественно оценить влияние экстремального маловодья на увеличение биомассы водорослей и ухудшение качества воды.

Объект и методы исследований.

В качестве объекта исследования выбрано Куйбышевское водохранилище, самое крупное в Волжско-Камском каскаде. Жигулевский (Куйбышевский) гидроузел введен в эксплуатацию в 1958 г. Перекрытие русла р. Волги состоялось 31 октября 1955 г. До отметки нормального подпорного уровня (53,0 м БС) водохранилище впервые было наполнено 10 июля 1957 года. Куйбышевское водохранилище является основным регулятором водного стока на Нижней Волге.

Общая площадь водосбора водохранилища составляет 1187,3 км², а частная площадь - 228,5 км². Протяженность водохранилища по р. Волга составляет 508 км, а по р. Кама - 280 км. Полный объем водохранилища - 57,3 км³, полезный - 33,9 км³. Водоохранилище контролирует 97 % водных ресурсов Волги и дает возможность проводить в современных условиях внутригодовое распределение стока Волги в створе Жигулевского гидроузла. Средний многолетний водный сток в створе плотины составляет 244,0 км³ [7]. Полезный объем водохранилища позволяет осуществлять неполное годовое (сезонное), недельное и суточное регулирование стока в интересах водопользователей. Для многолетнего регулирования стока емкость Куйбышевского водохранилища недостаточна.

Наблюдения за качеством воды в период 2009–2010 гг. проводились ежемесячно лабораторией мониторинга водных объектов ИЭВБ РАН. Стационарный пункт наблюдений располагался на 2,5 км ниже по течению от Жигулевской плотины. Отбор проб воды осуществляли по следующим показателям: температура воды, взвешенные вещества, биохимическое потребление кислорода (БПК₅), перманганатная окисляемость (ПО), растворенный кислород (O₂), нитраты (NO₃⁻) и фосфаты (PO₄³⁻). Для учета биомассы водорослей

определяли хлорофилл-«а». Все показатели качества вод определялись в соответствии с действующими нормативными документами Росгидромета.

Результаты исследований.

Выполнен статистический анализ данных многолетних наблюдений за расходами воды р. Волги в створе Жигулевской плотины (замыкающий створ Куйбышевского водохранилища). Приводится расчет обеспеченности средних годовых расходов воды р. Волга (таблица 1). Для расчета использовались данные о средних месячных расходах воды за весь период существования водохранилища с 1958 по 2017 год включительно.

Таблица 1. Средние годовые расходы (м³/с) и их эмпирическая обеспеченность (%)

Год	Средний годовой расход	Расход воды и его обеспеченность		Год	Средний годовой расход	Расход воды и его обеспеченность	
		м ³ /с	%			м ³ /с	%
1958	8528	10430	1,67	1988	6813	7654	51,67
1959	7113	10377	3,33	1989	6757	7466	53,33
1960	6526	10100	5,00	1990	10431	7453	55,00
1961	7350	10056	6,67	1991	10056	7354	56,67
1962	7660	9270	8,33	1992	7833	7350	58,33
1963	8112	9190	10,00	1993	8947	7280	60,00
1964	6568	9070	11,67	1994	10376	7190	61,67
1965	6973	9030	13,33	1995	8488	7176	63,33
1966	9274	9020	15,00	1996	5369	7170	65,00
1967	5785	8946	16,67	1997	6766	7110	66,67
1968	7040	8946	18,33	1998	7815	7060	68,33
1969	7060	8890	20,00	1999	7902	7040	70,00
1970	8453	8750	21,67	2000	7354	6970	71,67
1971	7188	8560	23,33	2001	8466	6940	73,33
1972	6824	8500	25,00	2002	8086	6820	75,00
1973	5290	8488	26,67	2003	7673	6812	76,67
1974	8295	8466	28,33	2004	8203	6766	78,33
1975	5270	8450	30,00	2005	9033	6756	80,00
1976	5944	8440	31,67	2006	6469	6570	81,67
1977	5984	8320	33,33	2007	8892	6530	83,33
1978	8753	8300	35,00	2008	7654	6470	85,00
1979	10076	8200	36,67	2009	7448	6236	86,67
1980	7981	8110	38,33	2010	6187	6187	88,33
1981	9193	8086	40,00	2011	6159	6159	90,00
1982	7166	7980	41,67	2012	7466	5980	91,67
1983	7655	7902	43,33	2013	8500	5940	93,33
1984	7283	7833	45,00	2014	6940	5780	95,00
1985	9071	7670	46,67	2015	6236	5290	96,67
1986	9024	7660	48,33	2016	8320	5270	98,33
1987	8443	7660	50,00	2017	8946	4954	100,00

Выполнен статистический анализ данных многолетних наблюдений за расходами воды р. Волги, определены годы и значения экстремально маловодных среднегодовых и среднемесячных расходов воды с момента создания водохранилища по настоящее время.

Для маловодных лет различают слабое, среднее и экстремальное маловодье. «Слабое маловодье» характеризуется небольшими отклонениями стока от его средней многолетней величины (обеспеченность от 50 до 75%). «Среднее маловодье» имеет обеспеченность по стоку от 75 до 90%. Годы обеспеченностью свыше 90% относятся к «экстремальному маловодью».

Анализ результатов показал, что к экстремально маловодным годам следует отнести 1996 (4950 м³/с), 1975 (5270 м³/с) и 1973 (5290 м³/с) (таблица 2). Для экологических исследований

целесообразнее проводить анализ не по средним годовым, а по средним месячным значениям в активный вегетационный период (июль, август). Для июля к экстремально маловодным годам следует отнести 1973 (3550 м³/с), 1975 (4560 м³/с), 1960 (4260 м³/с), для августа - 2010 (2127 м³/с), 1973 (3730 м³/с) и 1975 (3860 м³/с). Для природно-технических водных объектов оценка водности по средним годовым значениям расходов воды не совпадает с оценкой водности по среднемесячным значениям.

Таблица 2. Расходы волжской воды в створе Жигулевской плотины, тыс. м³/с

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Экстремально маловодные годы												
1996	4,99	4,37	3,75	5,42	12,1	4,66	5,45	4,91	5,49	4,70	3,60	5,03
1975	5,69	5,74	5,22	6,54	11,0	4,78	4,56	3,86	3,70	4,13	3,85	4,17
1973	4,34	3,41	4,66	8,08	16,4	3,57	3,55	3,73	3,59	4,04	3,05	5,06
Год средней водности												
2009	7,39	6,93	5,52	12,2	16,3	6,74	6,02	6,27	5,63	5,46	5,13	5,80
Аномальный год по погодным условиям												
2010	5,77	5,66	5,08	7,95	17,9	7,35	5,26	2,13	4,36	4,25	4,10	4,46

Несмотря на то, что 2010 г. по средним годовым значениям характеризуется как год среднего маловодья (6187 м³/с), в августе этого года наблюдались наименьшие средние месячные расходы воды (2127 м³/с) за весь период наблюдений с 1958 по 2017 годы. По сравнению с августом среднего по водности года расход воды катастрофически сократился в 3 раза. Столь маленького среднемесячного расхода воды в августе не наблюдалось даже в экстремальные маловодные годы 1973 (3730 м³/с), 1975 (3860 м³/с) и 1996 (4954 м³/с). Катастрофически низкие расходы воды в августе 2010 г. были вызваны не только аномальными погодными условиями, но и не оптимальным сезонным регулированием водного стока.

По данным Всемирной метеорологической организации 2010 г. стал одним из самых жарких за всю историю метеонаблюдений в бассейне Средней и Нижней Волги. За 120 последних лет не было зафиксировано ни одного случая столь долгого антициклона. Гидродинамические процессы из-за штилевых условий были ослаблены, а регулирование водного стока осуществлялось в критических условиях.

Летом 2010 г. были созданы наиболее благоприятные условия для массового развития сине-зеленых водорослей или «цветения» воды за счет снижения динамики водных масс и повышения температуры воды. В результате биомасса водорослей, в основном, за счет интенсивного развития сине-зеленых водорослей, увеличилась в 2010 г. в несколько раз по сравнению с годом средней водности (2009 г.). В июне концентрация хлорофилла «а» выросла с 2,67 до 4,85 мкг/дм³, в июле – с 1,02 до 8,56 мкг/дм³, в августе – с 1,68 до 6,62 мкг/дм³. Следовательно, в летний период биомасса водорослей увеличилась в 2–8 раз, главным образом за счет развития сине-зеленых водорослей. Возникла угроза токсического загрязнения водохранилища из-за способности отдельных видов сине-зеленых водорослей продуцировать токсины.

Процесс «цветения» воды в аномальный год вызвал ухудшение качества воды по цветности, запаху, органическим веществам и растворенному кислороду. В августе 2009 г. концентрация растворенного кислорода в русловой части Волги составляла 6,5 мгО/дм³, а в августе 2010 г. уменьшилась до критического уровня и составила 4,8 мгО/дм³. Даже на русловом участке водохранилища с интенсивной аэрацией (2,5 км ниже Жигулевской плотины) наблюдалось не соответствие нормативным требованиям, предъявляемым к водоемам рыбохозяйственного назначения (в летний период концентрация растворенного кислорода в воде не должна опускаться ниже 6,0 мгО/дм³).

Концентрация органических веществ в воде водохранилища по БПК₅ и ПО существенно увеличилась в 2010 г. по сравнению с 2009 г. В июле содержание органических веществ выросло с 7,44 до 8,72 мгО/дм³, в августе - с 6,60 до 8,06 мгО/дм³ (таблица 3).

Таблица 3. Концентрация органических веществ в волжской воде в 2009 и 2010 годы, мгО/дм³

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	6,80	6,16	8,96	7,04	6,56	6,72	7,44	6,60	7,00	6,70	6,40	6,56
2010	7,12	7,14	9,28	7,92	7,28	7,43	8,72	8,06	7,44	6,48	7,04	7,44

В годы экстремального маловодья процесс «цветения» воды нарушает биогеохимические циклы азота и фосфора и становится определяющим фактором формирования качества воды водохранилищ Средней и Нижней Волги. В период массового развития водорослей концентрация нитратов резко снижается. Чем больше биомасса водорослей, тем меньше концентрация нитратов в воде. В самый пик «цветения» воды концентрация нитратов в волжской воде снизилась в 2009 г. до 0,50 мгN/дм³, а в 2010 г - до 0,11 мгN/дм³. Важно отметить, что даже в аномальный по погодным условиям 2010 г. (крайне благоприятный для продуктивности фитопланктона) нитраты не становятся лимитирующим фактором развития сине-зеленых водорослей.

Наибольшая концентрация минерального фосфора (фосфаты) наблюдалась в зимний период. Летом концентрация резко падала и в июле наблюдалась минимальное значение 0,040 мгP/дм³ (2009 г.) и 0,010 мгP/дм³ (2010 г.). Это объясняется большим потреблением водорослями минерального фосфора в период их массового развития. В отсутствие «цветения» воды осенью и зимой концентрация фосфора увеличивается.

Наиболее отчетливо связь между концентрацией фосфатов и биомассой водорослей (по хлорофиллу «а») проявилась в аномальном 2010 году. Сезонные изменения концентрации минерального фосфора и хлорофилла «а» находятся в противофазе. И когда концентрация минерального фосфора становится менее 0,01 мгP/дм³ развитие водорослей прекращается. Следовательно, содержание минерального фосфора в воде водохранилища является сдерживающим фактором развития сине-зеленых водорослей в летний период.

Интенсификация массового развития водорослей в условиях маловодья обуславливает общую деградацию водных экосистем и прекращение воспроизводства качественной природной воды на водохранилищах Волги. Ухудшение качества воды водохранилищ лимитирует водохозяйственную деятельность и приводит к возникновению проблем в питьевом и промышленном водоснабжении, рыбном хозяйстве и рекреации.

Заключение.

Проведенные исследования показывают, что аномальные погодные условия (жара и засуха) и режим регулирования расходов воды в критических условиях маловодья способствуют увеличению продуктивности водорослей. Следовательно, в условиях глобального потепления климата проблема антропогенного эвтрофирования и ухудшения качества воды крупных водохранилищ Волги будет только усиливаться. Особое внимание следует обратить на фосфорную нагрузку, которая формируется точечными и диффузными источниками загрязнения и лимитирует процесс «цветения» воды.

Литература

1. Селезнева А.В., Селезнев В.А., Беспалова К.В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья // Поволжский экологический журнал. 2014. № 1. С. 88-96.
2. Беспалова К.В., Селезнева А.В., Селезнев В.А. Устойчивое водоснабжение городского населения в условиях «цветения воды» на водохранилищах Волги (на примере г.о. Тольятти) // Водоочистка. 2016. № 6. С. 16-21.
3. Селезнев В.А., Селезнева А.В., Беспалова К.В. Водоснабжение из эвтрофированных источников (проблемы и пути решения). Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 6 (78). С. 66 -70.
4. Герасимова Н.А. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Тольятти, 1996.
5. Зайцева И.С. Маловодные годы в бассейне Волги: природные и антропогенные факторы. М.: Наука, 1990.
6. Паутова В.Н., Номоконова В.И. Динамика фитопланктона Нижней Волги – от реки к каскаду водохранилищ. Тольятти, 2001.
7. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1991.