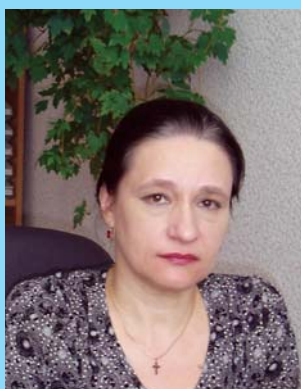


ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ ПРИ АНОМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

© 2013 г. А.В. Селезнёва, К.В. Беспалова, В.А. Селезнёв

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии
Волжского бассейна Российской академии наук, г. Тольятти*

Ключевые слова: качество воды, аномальные погодные условия, антропогенное эвтрофирование, водохранилище, маловодные годы.



А.В. Селезнёва



К.В. Беспалова



В.А. Селезнёв

Представлены результаты мониторинга качества волжской воды (Саратовское водохранилище) при аномальных погодных условиях в 2010 году. Установлено влияние гидродинамических процессов и температурного режима на массовое развитие синезеленых водорослей и ухудшение качества воды.

Массовое развитие водорослей на водохранилищах Нижней Волги оказывает негативное воздействие на формирование качества воды, что осложняет использование водоемов в качестве источников питьевого водоснабжения.

Совместный анализ абиотических и биотических компонент водных экосистем убеждает в том, что массовое развитие синезеленых водорослей усиливается в маловодные годы при ослаблении гидродинамических процессов. За период наблюдений с 1968 по 1984 годы на Саратовском и Волгоградском водохранилищах наибольшая биомасса синезеленых водорослей (2,61 и 1,54 г/м³) наблюдалась в августе экстремально маловодного 1975 г. [1].

Связь между «цветением» воды и водностью отмечалась на Волге и до создания каскада водохранилищ. По данным Волжской биостанции, 1901 г. оказался крайне маловодным. «К концу июля часть Волги против г. Саратова превратилась в замкнутый бассейн, где в огромном количестве развивались синезеленые водоросли. Огромным их количество было и в коренной Волге» [2].

Основной целью исследований является попытка авторов дать количественную оценку влияния снижения водности на развитие водорослей и ухудшение качества волжской воды. Сложившиеся в Волжском бассейне летом 2010 г. аномальные погодные условия и катастрофическое маловодье (рис. 1) предоставили такую возможность.



Рис. 1. Маловодье р. Волги у г. Волгограда в августе 2010 г.

По данным Всемирной метеорологической организации, 2010 г. стал одним из самых жарких за всю историю метеонаблюдений. За последние 120 лет в бассейне Средней и Нижней Волги не было зафиксировано ни одного случая столь долгого антициклона. Вследствие аномальных погодных условий в летний период температура воздуха была существенно выше, а осадки ниже нормы, что привело к увеличению температуры воды и маловодью на Куйбышевском, Саратовском, Волгоградском водохранилищах. Гидродинамические процессы из-за штилевых условий были ослаблены, а регулирование водного стока осуществлялось в критических условиях.

Объект и методы исследований

В качестве объекта исследований было выбрано Саратовское водохранилище, образованное плотиной Саратовской ГЭС и расположенное между городами Тольятти (Самарская область) и Балаково (Саратовская область). Общая протяженность водохранилища составляет 341 км, объем – 12,9 км³. На берегах водохранилища расположены города Тольятти, Самара, Чапаевск, Сызрань, Хвалынский, Балаково, а также множество населенных пунктов, использующих водоем в качестве источника водоснабжения.

Наблюдения за качеством воды в период 2009–2010 гг. проводились лабораторией ИЭВБ РАН, имеющей аккредитацию и лицензию на ведение мониторинга водных объектов. Стационарный пункт наблюдений располагался на Саратовском водохранилище в районе Жигулевской плотины (верхняя часть водохранилища). Отбор проб воды осуществляли 1 раз в месяц по следующим показателям: биохимическое потребление кислорода (БПК₅), растворенный кислород (O₂), нитраты (NO₃) и фосфаты (PO₄). Для учета биомассы фитопланктона определяли хлорофиллы «а», «b», «с», так как стандартный метод с использованием микроскопа довольно трудоемок. Все показатели качества вод определялись в соответствии с действующими нормативными документами Росгидромета. Выявление содержания хлорофиллов предназначалось для оценки биомассы водорослей различных таксономических групп. Хлорофилл «а» содержится во всех группах водорослей, хлорофилл «b» указывает на развитие зеленых и синезеленых водорослей, а хлорофилл «с» встречается у диатомовых водорослей [3].

Учитывая временную изменчивость абиотических и биотических процессов, обусловленную суточным и недельным режимом работы Жигулевской ГЭС, пробы воды отбирали только в будние дни в интервале 10–11 ч и доставляли автотранспортом в лабораторию института.

Результаты и обсуждение

Среднегодовой расход волжской воды в 2010 г. по сравнению с 2009 г. уменьшился с 7500 до 6200 м³/с. Объем водного стока составил 196 км³ и его следует отнести к маловодному году. 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 %, наиболее лимитирующие водное хозяйство – «экстремально маловодные» [4]. Если оценивать по среднегодовому стоку период с 1898 г., то 2010 г. является годом среднего маловодья, а экстремально маловодными – 1937 (150 км³), 1938 (162 км³), 1921 (163 км³) годы [4]. После создания водохранилищ на Средней и Нижней Волге (1958 г.) к экстремально маловодным годам следует отнести 1996 г. с расходом 4950 м³/с (156,1 км³), 1975 г. с расходом 5270 м³/с (165,9 км³), 1973 г. с расходом 5290 м³/с (166,8 км³) (рис. 2).

Совсем иная картина складывается при анализе водности с учетом сезонного распределения и оценки межгодовой изменчивости средних месячных расходов воды (рис. 3). При таком подходе август 2010 г. на Саратовском водохранилище является экстремально маловодным. По сравнению с августом 2009 г. расход воды катастрофически сократился в 3 раза (с 6300 до 2100 м³/с) (табл. 1). Столь маленького среднемесячного расхода воды в августе не наблюдалось даже в экстремальные маловодные годы. В августе 1996 г. расход воды составил 4900 м³/с, в 1975 г. – 3900 м³/с и в 1973 г. – 3700 м³/с.

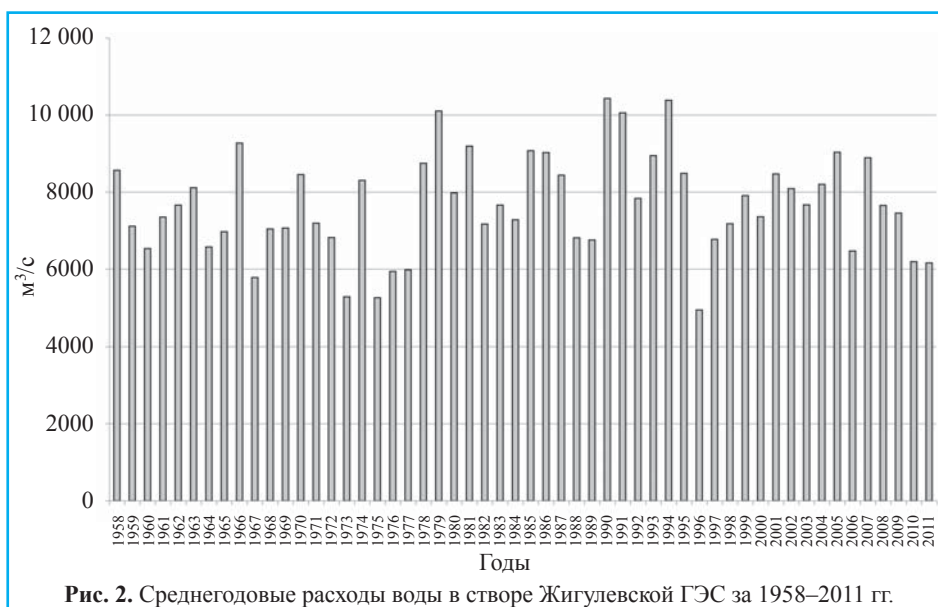


Рис. 2. Среднегодовые расходы воды в створе Жигулевской ГЭС за 1958–2011 гг.

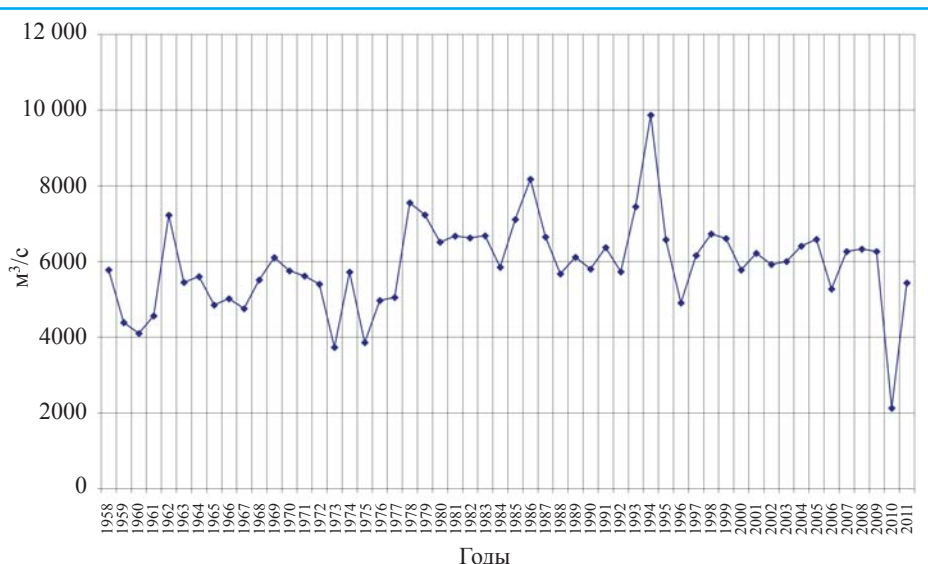


Рис. 3. Изменение среднемесячных расходов воды в августе за период 1958–2011 гг.

Анализ данных табл. 1 убеждает в том, что крайне низкие расходы воды в августе 2010 г. были вызваны не только аномальными погодными условиями, но и неправильным сезонным регулированием водного стока. Расходы воды составляли в мае 17 900 м³/с, июне 7300 м³/с, июле 5300 м³/с. Совершенно очевидно, что в маловодные годы расходы воды в эти месяцы должны быть существенно меньше. Вероятно, подобное регулирование вызвано неправильным прогнозом водного стока.

Таблица 1. Расходы волжской воды в створе Жигулевской ГЭС, тыс. м³/с

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Экстремально маловодные годы												
1996	5,0	4,4	3,7	5,4	12,1	4,7	5,5	4,9	5,5	4,7	3,6	5,0
1975	5,7	5,7	5,2	6,5	11,0	4,8	4,6	3,9	3,7	4,1	3,9	4,2
1973	4,3	3,4	4,7	8,1	16,4	3,6	3,6	3,7	3,6	4,0	3,1	5,1
Год средней водности												
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
Аномальный год (2010 г.) по погодным условиям												
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

Летом 2010 г. на водохранилищах Средней и Нижней Волги установилась безветренная погода и наблюдалась необычно высокая температура воды в поверхностном слое. На участке Саратовского водохранилища с принудительным перемешиванием в районе Жигулевской плотины температура воды в 2010 г. существенно отличалась от температуры в 2009 г. (табл. 2): в летний период 2010 г. она была выше на 1,1–3,5 °С по сравнению с показателями 2009 г. Максимальная температура воды наблюдалась в июле 2010 г. в период массового развития синезеленых водорослей – 23,5 °С. Столь высокая температура воды для русловой части Саратовского водохранилища в районе Жигулевской плотины явление крайне необычное.

Результаты исследований показывают, что в 2010 г. сложились наиболее благоприятные условия для массового развития синезеленых водорослей по причине повышения температуры воды и снижения динамики водных масс. В результате биомасса фитопланктона, в основном за счет синезеленых водорослей, увеличилась в несколько раз по сравнению с 2009 г. (табл. 3).

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. Содержание хлорофиллов в волжской воде, мкг/дм³

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Хлорофилл «а»												
2009	н/о	н/о	н/о	1,04	0,76	2,67	1,02	1,68	0,69	0,75	0,30	0,44
2010	н/о	н/о	н/о	н/о	2,31	4,85	8,56	6,62	3,24	1,60	1,22	0,85
Хлорофилл «б»												
2009	н/о	н/о	н/о	0,05	0,38	0,59	0,56	0,84	0,18	0,96	0,73	н/о
2010	н/о	н/о	н/о	н/о	0,04	н/о	н/о	н/о	0,15	0,60	0,68	0,74
Хлорофилл «с»												
2009	н/о	н/о	н/о	0,21	0,64	1,00	1,10	1,54	0,44	2,30	1,11	0,02
2010	н/о	н/о	н/о	н/о	0,82	1,09	1,04	1,43	1,03	1,27	1,26	1,25

Примечание: н/о – не обнаружено данным методом.

Содержание хлорофилла «а» в воде существенно увеличилось в 2010 г. (рис. 4). Концентрация хлорофилла «а» выросла в июне 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. Таким образом, из-за аномальных погодных условий в 2010 г. массовое развитие синезеленых водорослей увеличилось примерно в 2–8 раз. При этом изменилось соотношение таксономических групп водорослей. Концентрация хлорофилла «b» в июне, июле и августе практически равнялась нулю, что свидетельствует об отсутствии в этот период зеленых водорослей.

Процесс «цветения» воды нарушает биогеохимические циклы азота и фосфора [5] в водохранилищах 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» концентрация нитратов в волжской воде снизилась в 2009 г. до 0,50 мгN/дм³, а в 2010 г – до 0,11 мгN/дм³ (табл. 4). Важно отметить, что даже в аномальный по погодным условиям 2010 г. (крайне благоприятный для продуктивности фитопланктона) нитраты не становятся лимитирующим фактором развития синезеленых водорослей.

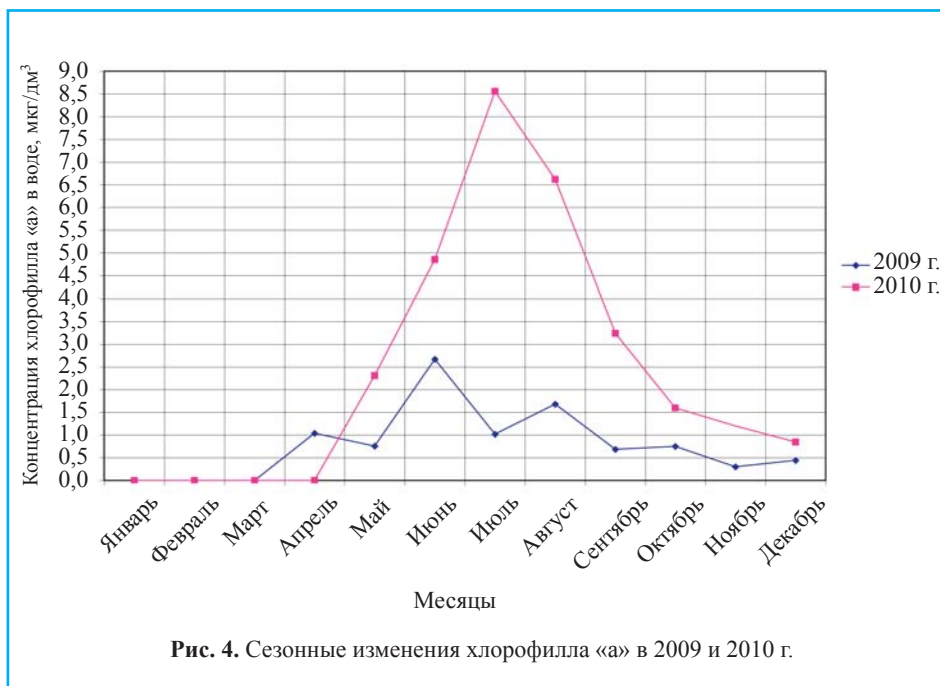


Рис. 4. Сезонные изменения хлорофилла «а» в 2009 и 2010 г.

Таблица 4. Характеристика качества волжской воды

Месяц	2009 г.				2010 г.			
	NO ₃ , мгN/дм ³	PO ₄ , мгP/дм ³	O ₂ , мгO/дм ³	БПК ₅ , мгO/дм ³	NO ₃ , мгN/дм ³	PO ₄ , мгP/дм ³	O ₂ , мгO/дм ³	БПК ₅ , мгO/дм ³
Январь	0,70	0,062	12,9	0,5	0,42	0,079	12,2	0,7
Февраль	0,94	0,058	11,9	0,6	0,42	0,064	10,6	0,6
Март	1,20	0,052	10,0	0,7	0,52	0,067	10,0	0,7
Апрель	1,10	0,053	9,3	0,8	0,58	0,057	9,8	0,7
Май	0,92	0,050	9,0	0,9	0,47	0,046	10,2	1,1
Июнь	0,58	0,046	8,8	1,4	0,20	0,020	8,6	1,5
Июль	0,50	0,040	8,0	1,6	0,11	0,010	6,4	2,1
Август	1,10	0,052	6,5	1,5	0,12	0,049	4,8	2,1
Сентябрь	0,12	0,017	7,5	1,1	0,30	0,092	6,6	1,7
Октябрь	0,12	0,096	9,1	0,7	0,31	0,099	10,1	0,7
Ноябрь	0,20	0,100	11,1	0,7	0,30	0,101	11,3	0,7
Декабрь	0,26	0,092	12,6	0,6	0,31	0,105	12,4	0,6

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

В результате активного потребления водорослями нитратов и фосфатов их концентрация в воде водохранилища в летний период резко снижается. При этом содержание фосфатов становится незначительным, в то время как концентрация нитратов остается достаточно высокой. Можно предположить, что в пойменных частях водохранилища, где численность и биомасса фитопланктона намного больше, чем в русле, концентрация фосфатов будет приближаться к аналитическому нулю.

Наиболее отчетливо связь между концентрацией фосфатов и биомассой водорослей (по хлорофиллу «а») проявилась в аномальном 2010 г. (рис. 5). Сезонные изменения концентрации минерального фосфора и хлорофилла «а» находятся в противофазе. На рисунке отчетливо видно, что «бурное» развитие водорослей замедляется и прекращается после того, как концентрация минерального фосфора достигла аналитического нуля.

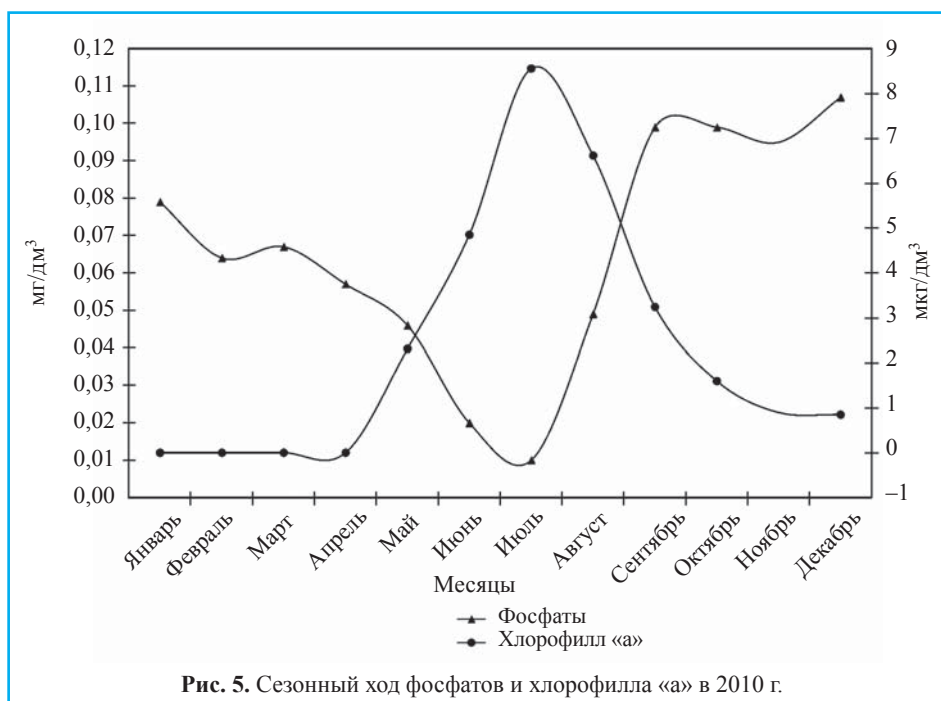


Рис. 5. Сезонный ход фосфатов и хлорофилла «а» в 2010 г.

Следовательно, содержание фосфатов в воде водохранилища является сдерживающим фактором развития синезеленых водорослей в летний период.

Процесс «цветения» обуславливает ухудшение качества воды (табл. 4): уменьшается концентрация растворенного кислорода и увеличивается органическое загрязнение. В августе 2009 г. концентрация растворенного кислорода в русловой части водохранилища составила 6,5 мгО/дм³, а в августе 2010 г. уменьшилась до критического уровня и составила 4,8 мгО/дм³ (рис. 6). И это на участке водохранилища (2,5 км ниже ГЭС), где происходит интенсивная аэрация. В соответствии с нормативными требованиями к водоемам рыбохозяйственного назначения, в летний период концентрация растворенного кислорода в воде не должна опускаться ниже 6,0 мгО/дм³.

Концентрация легко окисляемого органического вещества (по БПК₅) в июле 2009 г. не превышала допустимой нормы и составила 1,6 мгО/дм³, а в июле 2010 г. – превысила предельно допустимое значение до 2,1 мгО/дм³.

Наряду с увеличением концентрации органических веществ и ухудшением кислородного режима возникает угроза токсического загрязнения водохранилищ, т. к. отдельные виды синезеленых водорослей способны продуцировать сильнодействующие токсины.

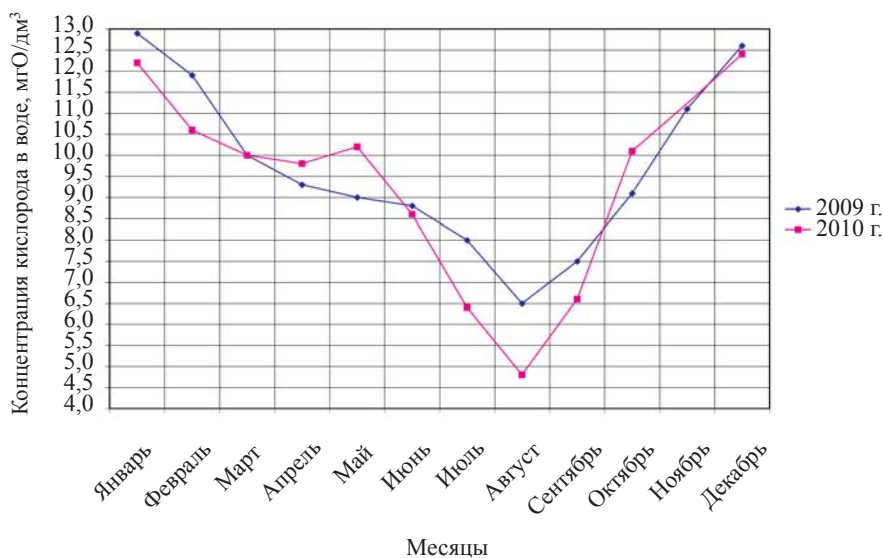


Рис. 6. Сезонные изменения концентрации кислорода в 2009 и 2010 гг.

Интенсификация массового развития водорослей в условиях маловодья обуславливает общую деградацию водных экосистем и прекращение воспроизводства качественной природной воды. Ухудшение качества воды порождает цепную реакцию возникновения водохозяйственных проблем (питьевое водоснабжение, рекреация) и может привести к подрыву рыбных ресурсов промысловых водохранилищ.

В настоящее время предлагаются различные механические, химические [6] и биологические [7] методы борьбы с «цветением» воды. Однако все они ограничены во времени и пространстве, малоэффективны в условиях крупных водохранилищ. Важно отметить, что перечисленные методы нацелены на борьбу с последствиями антропогенного эвтрофирования водоемов, а не на причины, его вызывающие. На наш взгляд, необходима разработка долгосрочных профилактических методов, направленных на снижение поступления фосфора в водохранилища от точечных и диффузных источников загрязнения.

По нашим оценкам, только от точечных источников загрязнения в Волжский бассейн ежегодно поступает 13 тыс. т общего фосфора от 39 субъектов Российской Федерации. Из них больше половины сброса фосфора приходится на г. Москву (2300 т), Самарскую (930 т), Московскую (880 т), Нижегородскую (870 т), Ярославскую (910 т) области и Республику Татарстан (600 т). При этом концентрация фосфора в сточных водах в десятки и сотни раз превышает фоновую концентрацию в волжской воде.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что аномальные погодные условия (жара и засуха) способствуют увеличению продуктивности водорослей и ухудшению качества воды. Следовательно, в условиях глобального потепления климата проблема антропогенного эвтрофирования водохранилищ будет только усиливаться.

При дальнейших исследованиях особое внимание следует обратить на фосфорную нагрузку, которая оказывает первостепенное влияние на устойчивость водных экосистем и лимитирует процесс «цветения» воды.

Одной из главных причин чрезмерного поступления фосфора в водохранилища является низкая эффективность очистки сточных вод и несовершенство системы нормирования антропогенной нагрузки. В частности, в качестве критериев нормирования применяют одинаковые для всей территории России предельно допустимые концентрации, которые зависят только от вида водопользования и не учитывают региональных особенностей формирования природных вод. В результате устанавливаются ошибочные приоритеты управления антропогенной нагрузкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимова Н.А. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Тольятти. 1996. 200 с.
2. Паутова В.Н., Номоконова В.И. Динамика фитопланктона Нижней Волги – от реки к каскаду водохранилищ. Тольятти. 2001. 279 с.
3. Абакумов В.А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
4. Зайцева И.С. Маловодные годы в бассейне Волги: природные и антропогенные факторы. М.: Наука, 1990. 184 с.
5. Моисеенко Т.И. Антропогенно-индуцированные процессы в биосфере // Вестник Российской академии наук. 2011. Т. 81. № 12. С. 1100–1108.
6. Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 278 с.
7. Остроумов С.А. Синэкологические основы решения проблемы эвтрофирования // ДАН. 2001. Т. 381. № 5. С. 709–712.

Сведения об авторах:

Селезнёва Александра Васильевна, к. т. н., старший научный сотрудник, ФГБУН Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук (ИЭВБ РАН), 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10; e-mail: seleznev53@mail.ru

Беспалова Ксения Владимировна, младший научный сотрудник, ФГБУН Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук (ИЭВБ РАН), 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10; e-mail: kvbepalova@yandex.ru

Селезнёв Владимир Анатольевич, д. т. н., заведующий лабораторией, ФГБУН Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук (ИЭВБ РАН), 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10; e-mail: seleznev53@mail.ru