

УДК 581.526.325(470.43)

МАССОВОЕ РАЗВИТИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ р. ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ МАЛОВОДЬЯ

А. В. Селезнёва, В. А. Селезнёв, К. В. Беспалова

*Институт экологии Волжского бассейна РАН
Россия, 445003, Тольятти, Комзина, 10
E-mail: seleznev@mail.ru*

Поступила в редакцию 18.05.12 г.

Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья. – Селезнёва А. В., Селезнёв В. А., Беспалова К. В. – Представлены результаты мониторинга качества вод р. Волги (Саратовское водохранилище) при аномальных погодных условиях в 2010 г. Установлено, что повышение температуры и снижение расходов воды способствуют увеличению продуктивности водорослей и ухудшению качества воды. В условиях глобального потепления климата проблема антропогенного эвтрофирования водохранилищ будет только усиливаться.

Ключевые слова: антропогенное эвтрофирование, водохранилище, маловодные годы.

Mass seaweed development in the Volga reservoirs when shortage of water. – Selezneva A. V., Seleznev V. A., and Bespalova K. V. – The results of our monitoring of water quality in the Volga River (the Saratov reservoir) under the 2010 abnormal weather conditions are presented. Temperature increasing and decreased water expenses have been found to promote an enhanced efficiency of algae and water deterioration. The anthropogenic reservoir eutrophication problem will be aggravated in the conditions of global climate warming.

Key words: anthropogenic eutrophication, reservoir, shallow-water years.

ВВЕДЕНИЕ

Совместный анализ абиотических и биотических компонент водных экосистем, убеждает нас в том, что массовое развитие сине-зелёных водорослей усиливается в маловодные годы. За период наблюдений с 1968 по 1984 г. на Саратовском и Волгоградском водохранилищах наибольшая биомасса сине-зелёных водорослей (2.61 и 1.54 г/м³) наблюдалась в августе экстремально маловодного 1975 г. (Герасимова, 1996). Связь между «цветением» воды и водностью отмечалась на Волге и до создания каскада водохранилищ. 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-зелёные водоросли. Огромным их количество было и в коренной Волге» (Паутова, Номоконова, 2001, с. 12).

Благодаря аномальным погодным условиям, сложившимся в Волжском бассейне летом 2010 г., представилась возможность количественно оценить влияние маловодья на увеличение первичной продукции и ухудшение качества воды. 2010 г. по данным Всемирной метеорологической организации 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 существо-

вания 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.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследований было выбрано Саратовское водохранилище. Стационарный пункт наблюдений расположен в 2.5 км ниже по течению от плотины Жигулевской ГЭС. Наблюдения, полученные в 2010 г. (маловодный год), сравнивались с данными смежного 2009 г. (год средней водности с годовым объемом стока 236.5 км³).

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» (Зайцева, 1990). Если рассматривать период с 1898 г. и оценивать по среднегодовому стоку, то 2010 г. является годом среднего маловодья, а экстремально маловодными являются 1937 (150 км³), 1938 (162 км³), 1921 (163 км³) годы (Зайцева, 1990). 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. 1).

Совсем иная картина складывается, если будем анализировать водность с учетом сезонного распределения и оценивать межгодовую изменчивость средних месячных расходов воды (рис. 2). 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.

Анализ данных, приведённых в табл. 1, убеждает нас 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 – 17.9 тыс. м³/с, июне – 7.3 тыс. м³/с, июле – 5.3 тыс. 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.

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. су-

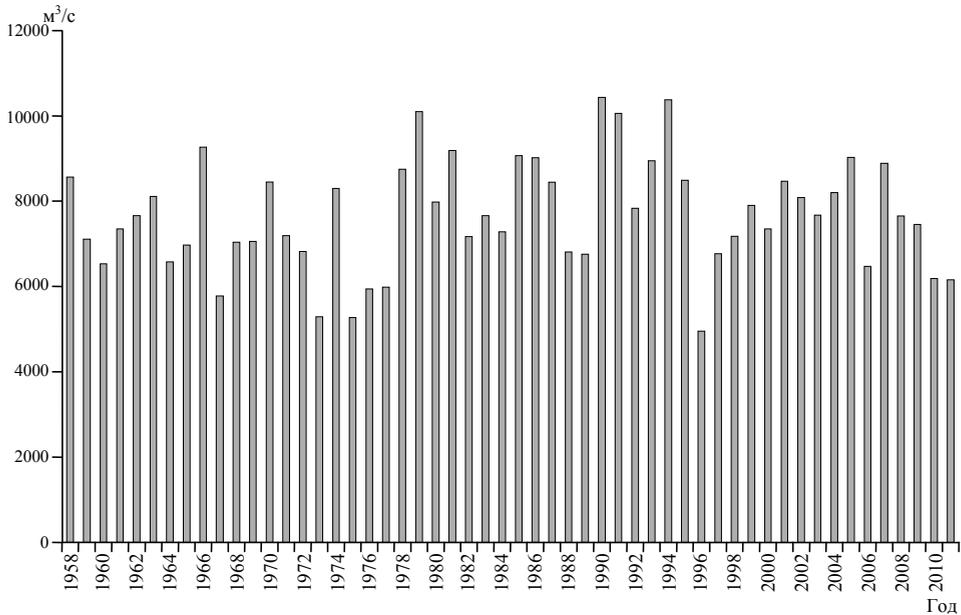


Рис. 1. Среднегодовые расходы воды Жигулёвской ГЭС за 1958 – 2011 гг.

щественно отличалась от температуры в 2009 г. (табл. 2). В летний период 2010 г. она была выше на 1.1 – 3.5°C по сравнению с летом 2009 г. Максимальная температура наблюдалась в июле 2010 г. в период массового развития сине-зелёных во-

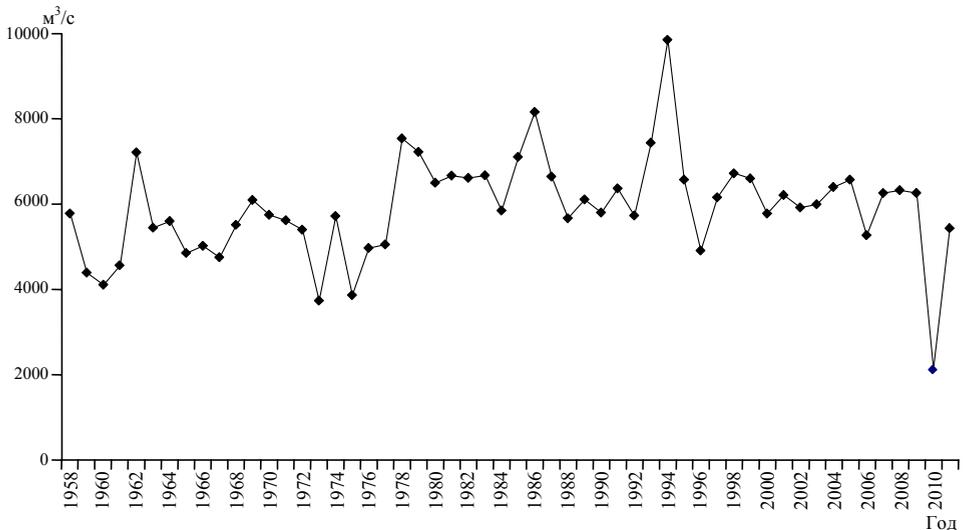


Рис. 2. Изменение расходов воды в августе за период 1958 – 2011 гг.

МАССОВОЕ РАЗВИТИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ

дорослей и составила 23.5°C. Столь высокая температура воды для русловой части Саратовского водохранилища в районе Жигулевской плотины явление крайне необычное.

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 |

Наблюдения за качеством воды в период 2009 – 2010 гг. проводились лабораторией мониторинга водных объектов ИЭВБ РАН на стационарном пункте, расположенном на Саратовском водохранилище в районе Жигулевской плотины. Отбор проб воды осуществлялся 1 раз в месяц по следующим показателям: биохимическое потребление кислорода (БПК₅), растворенный кислород (O₂), нитраты (NO₃⁻) и фосфаты (PO₄⁻). Для учета биомассы фитопланктона определялись хлорофиллы «а», «b», «с», так как стандартный метод с использованием микроскопа довольно трудоёмкий. Хлорофиллы предназначались для оценки биомассы водорослей различных таксономических групп. Хлорофилл «а» содержится во всех группах водорослей. Хлорофилл «b» указывает на развитие зелёных и сине-зелёных водорослей, а хлорофилл «с» встречается у диатомовых водорослей (Абакумов, 1992).

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 |

Учитывая временную изменчивость абиотических и биотических процессов, обусловленную суточным и недельным режимом работы Жигулевской ГЭС, пробы воды отбирались только в будние дни, в интервале 10 – 11 часов и доставлялись автотранспортом в лабораторию института. Анализ проб воды осуществлялся в соответствии с действующими нормативными документами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты наблюдений показывают, что в 2010 г. были созданы наиболее благоприятные условия для массового развития сине-зелёных водорослей за счет

повышения температуры воды и снижении динамики водных масс. В результате биомасса фитопланктона, в основном за счет сине-зелёных водорослей, увеличилась в несколько раз по сравнению с 2009 г. (табл. 3).

Таблица 3

Содержание хлорофиллов в волжской воде, мг/м³

| 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. 3). Концентрация хлорофилла «а» выросла: 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. Таким образом, из-за аномальных погодных условий в 2010 г. массовое развитие сине-зелёных водорос-

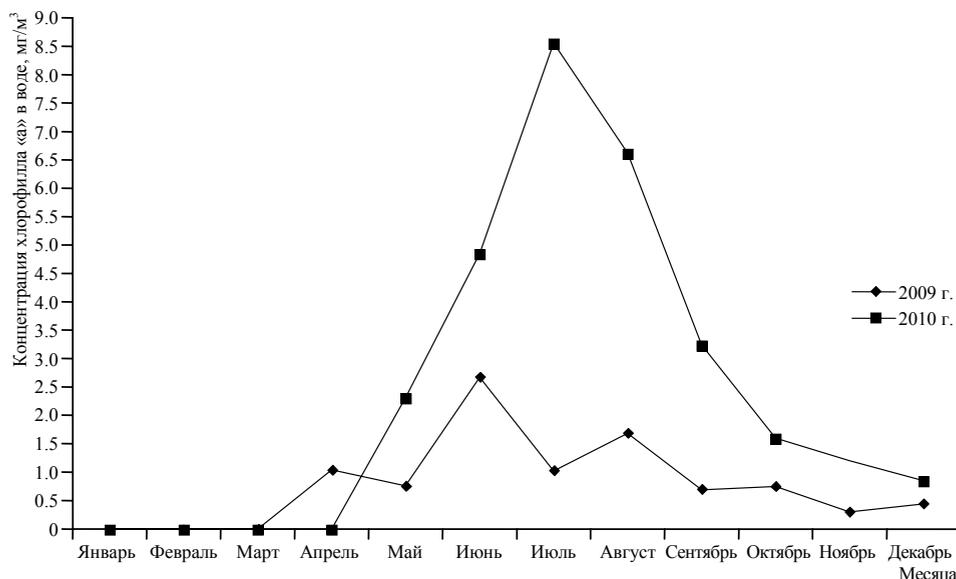


Рис. 3. Сезонные изменения хлорофилла «а» в 2009 г. и 2010 г.

МАССОВОЕ РАЗВИТИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ

лей увеличилась примерно в 2 – 8 раз. При этом изменилось соотношение таксономических групп водорослей.

Важно отметить, что концентрация хлорофилла «b» в июне, июле и августе практически равнялась нулю при массовом развитии сине-зелёных водорослей. Полученный результат не согласуется с рекомендациями в «Руководстве по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем (Абакумов, 1992), где утверждается, что хлорофилл «b» указывает на развитие зелёных и сине-зелёных водорослей.

Процесс «цветения» воды нарушает биогеохимические циклы азота и фосфора (Моисеенко, 2011) 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/л, а в 2010 г – до 0.11 мгN/л (табл. 4).

Таблица 4

Характеристика качества волжской воды

| Месяц | 2009 г. | | | | 2010 г. | | | |
|----------|---|---|----------------------------|------------------------------|---|---|----------------------------|--|
| | NO ₃ ⁻ , мгN/л | PO ₄ ⁻ , мгP/л | O ₂ , мг O/л | БПК ₅ , мг O/л | NO ₃ ⁻ , мгN/л | PO ₄ ⁻ , мгP/л | O ₂ , мг O/л | БПК ₅ , мг O ₂ /л |
| 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 |

Важно отметить, что даже в аномальный по погодным условиям 2010 г. (крайне благоприятный для продуктивности фитопланктона) нитраты не становятся лимитирующим фактором развития сине-зелёных водорослей.

У фосфатов наибольшая концентрация наблюдается в зимний период. Летом концентрация резко падает и в июле наблюдается минимальное значение 0.040 мгP/л (2009 г.) и 0.010 мгP/л (2010 г.). Это объясняется большим потреблением фосфора водорослями 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 2010 году (рис. 4). 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 достигает аналитического нуля. Следовательно, содержание фосфатов в воде водохранилища является сдерживающим фактором развития сине-зелёных водорослей в летний период.

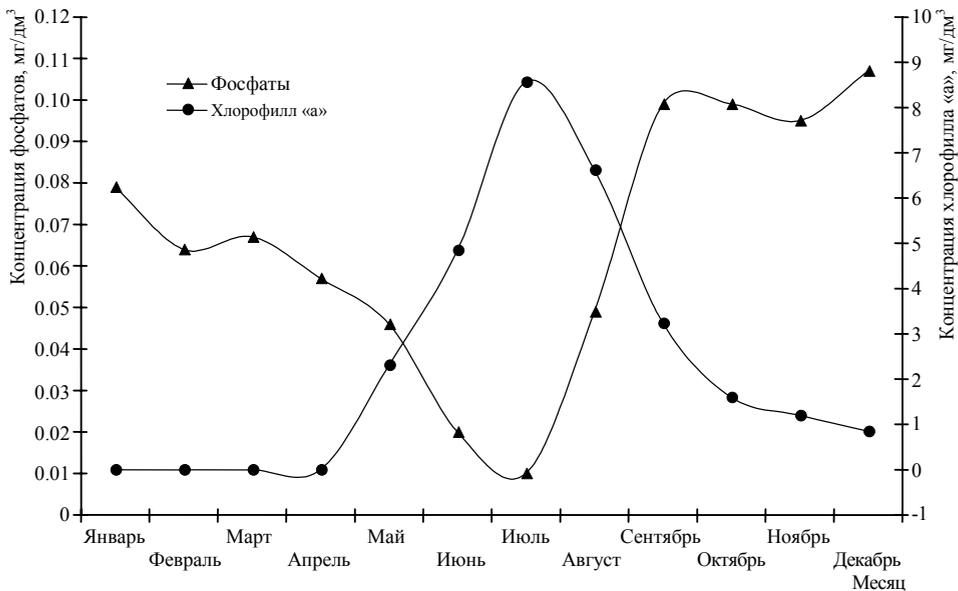


Рис. 4. Сезонный ход фосфатов и хлорофилла «а» в 2010 г.

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

МАССОВОЕ РАЗВИТИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Концентрация легко окисляемого органического вещества (по БПК₅) в июле 2009 г. не превышала допустимой нормы и составила 1.6 мгО/л, а в июле 2010 г. превысила предельно допустимое значение и составила 2.1 мгО/л.

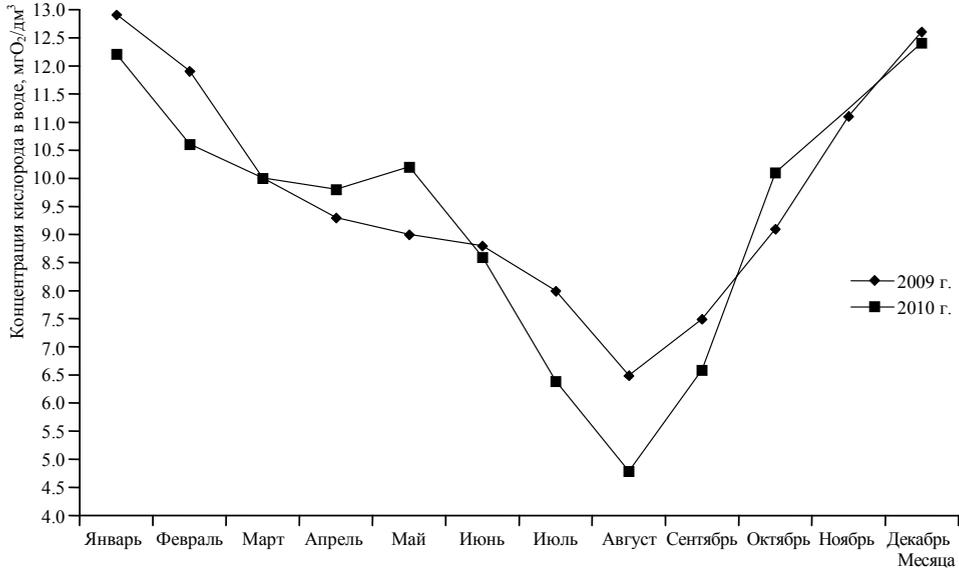


Рис. 5. Сезонные изменения концентрации кислорода в 2009 г. и 2010 г.

Наряду с увеличением концентрации органических веществ и ухудшением кислородного режима, возникает угроза токсического загрязнения водохранилищ, так как отдельные виды сине-зелёных водорослей способны продуцировать сильно действующие токсины.

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

В настоящее время предлагаются различные механические, химические (Хрисанов, Осипов, 1993) и биологические (Остроумов, 2011) методы борьбы с «цветением» воды. Однако все они ограничены во времени и пространстве и малоэффективны в условиях крупных водохранилищ Волги. Важно отметить, что перечисленные методы направлены на борьбу с последствиями антропогенного эвтрофирования водоёмов, а не на причины, его вызывающие. На наш взгляд, необходима разработка долгосрочных профилактических методов борьбы, 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 10000 тонн общего фосфора от 39 субъектов РФ. Из них больше половины сброса фосфора приходится на г. Москву (2300 тонн), Самарскую (930 тонн), Московскую (880 тонн), Нижегородскую (870 тонн), Ярославскую (910 тонн) области и Республику Татарстан (600 тонн). 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 применяются 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

- Абакумов В. А.* Руководство по гиробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
- Герасимова Н. А.* Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ / Ин-т экологии Волжского бассейна РАН. Тольятти, 1996. 200 с.
- Зайцева И. С.* Маловодные годы в бассейне Волги : природные и антропогенные факторы. М. : Наука, 1990. 184 с.
- Моисеенко Т.И.* Антропогенно-индуцированные процессы в биосфере // Вестн. РАН. 2011. Т. 81, № 12. С. 1100 – 1108.
- Остроумов С. А.* Синэкологические основы решения проблемы эвтрофирования // Докл. РАН. 2001. Т. 381, № 5. С. 709 – 712.
- Паутова В. Н., Номоконова В. И.* Динамика фитопланктона Нижней Волги – от реки к каскаду водохранилищ / Ин-т экологии Волжского бассейна РАН. Тольятти, 2001. 279 с.
- Хрисанов Н. И., Осипов Г. К.* Управление эвтрофированием водоемов. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 278 с.