

УДК 581.526.325(282.247.41)

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА  
В СВЯЗИ С УРОВЕННЫМ РЕЖИМОМ КУЙБЫШЕВСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2009 г. Л. Ю. Халиуллина\*, В. А. Яковлев\*\*, И. И. Халиуллин\*

\*Институт экологии природных систем Академии наук Республики Татарстан  
420087 Казань, ул. Даурская, 28\*\*Казанский государственный университет  
420008 Казань, ул. Кремлевская, 18

Поступила в редакцию 02.10.2007 г.

По результатам многолетних наблюдений рассмотрены особенности сезонных и межгодовых флуктуаций численности и биомассы планктонных водорослей в связи с сезонной динамикой уровня воды в Куйбышевском водохранилище. Динамика уровня режима в водохранилище совместно с климатическими условиями – определяющий фактор для развития фитопланктона. Отрицательные последствия евтрофирования (в частности, “цветение” воды) можно уменьшить путем поддержания оптимального уровня воды в водохранилище – не ниже НПУ (53 м БС) в летний период.

По сравнению с естественными водными объектами искусственно созданные водоемы (водохранилища) отличаются большей динамичностью внутриводоемных процессов и меньшей устойчивостью по отношению к антропогенному влиянию [1–3]. Прогрессирующее евтрофирование и, как следствие, “цветение” и ухудшение качества воды с первых лет их существования – одна из главных проблем, требующая решения для большинства равнинных водохранилищ [6, 8, 20, 21]. Одним из основных показателей трофического состояния и потенциала биологической продуктивности водных объектов является структурная организация одного из ведущих автотрофных компонентов водных экосистем – планктонных водорослей. Сезонные изменения продуктивности фитопланктона водохранилищ, как и других водоемов, можно объяснить динамикой погодных и гидрологических условий [14, 18]. Причины и механизмы межгодовых вариаций продуктивности фитопланктона в один и тот же биологический сезон разных лет остаются пока недостаточно раскрытыми.

Цель данных исследований – выявление причин и механизмов сукцессий и межгодовых флуктуаций фитопланктона Куйбышевского водохранилища.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье проанализированы результаты многолетних исследований сезонной динамики фитопланктона Волжско-Камского плеса Куйбышевского водохранилища в зависимости от гидрологических условий. В работе использованы данные за 1975, 1981–1984 [16, 23], а также за 1988–1990

и 2002 гг. (собственные наблюдения). Данные по гидрохимическому и гидрологическому режиму водохранилища, а также метеорологическим условиям района исследований были собраны авторами и включали опубликованные в [5, 16].

В период открытой воды отбор интегрированных по глубине (с 0,2 м до дна через каждый метр) проб фитопланктона осуществляли на пяти постоянных станциях на акватории Волжско-Камского плеса с периодичностью 3–4 раза в сутки. Подолдом пробы отбирали 2–3 раза в месяц. Фиксированные пробы концентрировали в два этапа осадочным методом до 20–30 мл. Подсчет организмов проводили по общепринятой методике в камере Горяева [3, 19]. Для количественного и качественного учета монадных и амeboидных форм, разрушающихся или деформирующихся при фиксации, пробы фильтровали через мембранный фильтр с размерами пор 0,46 мкм и просматривали в живом состоянии. Доминирующими в сообществах принимали виды с численностью или биомассой большей или равной 10% общих показателей, субдоминантов (5–10%).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрометеорологические условия. Одна из главных особенностей Куйбышевского водохранилища – высокая амплитуда сезонного колебания уровня воды, обычно превышающая 5 м [12]. Годовой ход уровня воды водохранилища обусловлен величиной притока и стока воды. Ежегодно в течение весеннего половодья водохранилище наполняется до максимальных отметок, затем в течение 2–3 ме-

**Таблица 1.** Гидрологические показатели и среднегодовая биомасса, мг/л, фитопланктона Куйбышевского водохранилища (прочерк – отсутствие данных)

Показатель	1975 г.	1981 г.	1982 г.	1983 г.	1984 г.	1988 г.	1989 г.	1990 г.
Уровень воды (среднее значение за год), м БС	50.3	52.3	52.1	52.6	51.1	52.0	50.8	53.1
Коэффициент условного водообмена (среднегодовой)	2.9	4.0	4.2	3.8	4.7	–	–	–
Месяц, в котором наблюдался максимальный уровень воды	IV	V	V	IV	IV–V	V	VI	III–IV
Месяц, в котором наблюдался минимальный уровень воды	I	II–III	II–III	II	III	II	I	II
Водность года	Маловодный	Многоводный	Средневодный	Средневодный	Маловодный	Маловодный	Маловодный	Многоводный
Суммарный приток (основной и боковой приток, осадки), км <sup>3</sup> , и их отклонения от среднеегодовых значений, %	165.6 (–33.6)	294.0 (+17.8)	233.0 (–6.6)	247.0 (–1.0)	221.0 (–11.4)	209.0 (–16.2)	217.0 (–22.2)	338.0 (+4.0)
Осадки, км <sup>3</sup> , и их отклонения от среднеегодовых значений, %*	1.8 (–32.0)	2.2 (–17.7)	2.7 (1.9)	2.9 (+10.2)	2.2 (–16.2)	2.5 (–4.5)	–	–
Среднегодовая биомасса фитопланктона, мг/л**	16.7 ± 2.3	8.1 ± 1.8	6.8 ± 2.4	8.8 ± 1.9	7.2 ± 3.3	8.9 ± 1.8	21.8 ± 5.2	6.8 ± 1.3

\* – по [11];

\*\* – данные для Волжско-Камского плеса.

сяцев уровень удерживается на отметке близкой к нормальному подпорному уровню (53 м). С июля до начала ледостава уровень постепенно понижается до отметок 48–49 м. Снижение уровня воды сопровождается большими изменениями морфологических, гидрологических, биолого-продукционных и других параметров водохранилища, особенно в его мелководных участках [5].

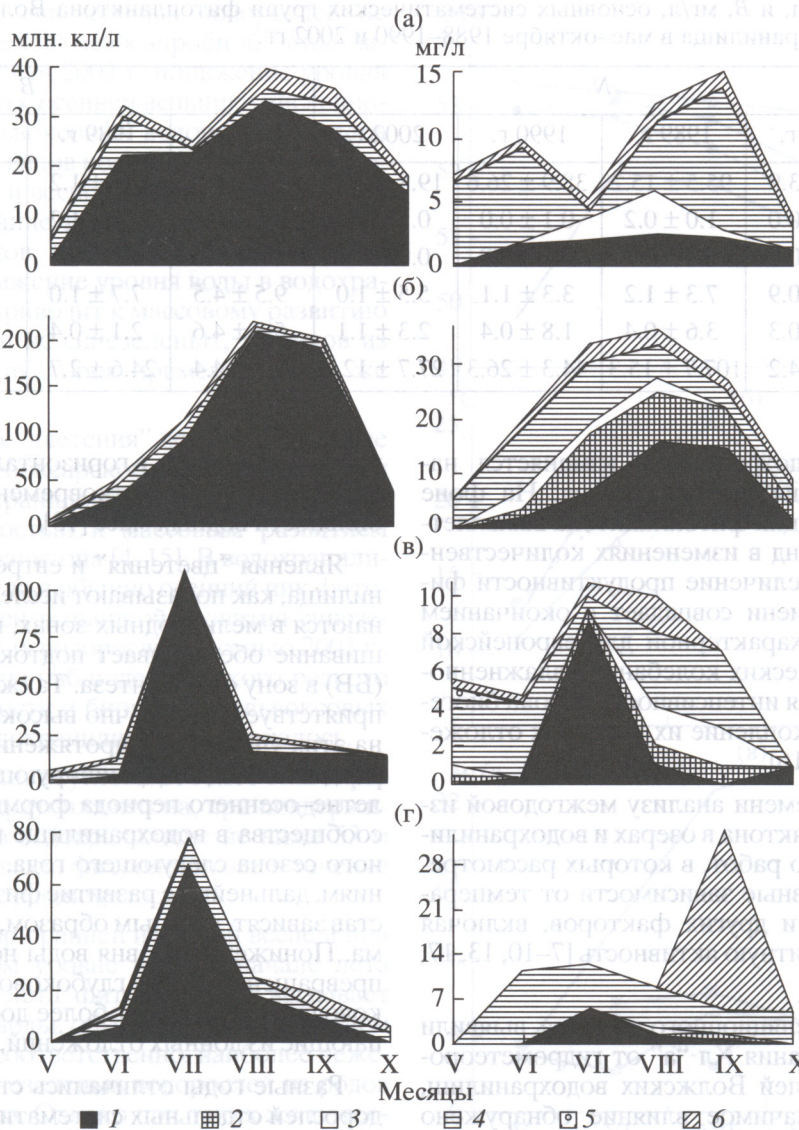
Весенний прогрев и осеннее охлаждение воды в разные годы проходят с различной интенсивностью в зависимости от синоптических процессов в атмосфере, а также от величин притока воды с верховий Волги и Камы, расхода через плотину Волжской ГЭС и, соответственно, колебания объема и уровня воды, а также проточности водохранилища (табл. 1). Смена водных масс в водохранилище в течение года осуществляется >3 раз, в отдельные годы – до 6 раз. Наиболее интенсивный водообмен характерен для мая, летом и осенью он значительно меньше.

Самыми низкими уровнями и объемами воды на протяжении всего периода открытой воды отличались 1975 и 1989 гг. Напротив, 1990 г. выделялся наибольшим уровнем и объемом водных масс в водохранилище (приход воды на протяжении всего безледного периода был выше среднеегодового). 1984 г. отличался минимальной амплитудой колебания уровня воды и чрезвычайно низким уровнем воды весной. Максимальный подъем наблюдался в осенний период за счет интенсивного наполнения из выше расположенных водохранилищ. Годы

также различались по характеру наполнения и сработки воды в водохранилище. Весеннее наполнение до максимальных для каждого года отметок самым ранним было в 1990 (в конце марта), поздним – в 1989 гг. (в июне). Минимальное снижение уровня воды к осени наблюдалось в 1983 и 1990 гг.

Сезонная динамика фитопланктона. Она определяется, главным образом, динамикой гидрометеорологических условий. Фитопланктон слабо развит под заснеженным льдом зимой и беден в паводковых водах при высокой их мутности и сильном течении. С началом термической стратификации, имеющей неустойчивый характер на протяжении всего периода открытой воды, увеличивается обилие зеленых и диатомовых водорослей. К концу весны при массовом развитии зоопланктона численность водорослей обычно снижается и наступает непродолжительная фаза “чистой воды”. При дальнейшем прогреве водных масс до 20°C и выше интенсивно развиваются синезеленые водоросли. Они же определяют облик фитопланктона в озеровидных расширениях водохранилища, нередко вплоть до ледостава. Наряду с ними летом интенсивно развиваются зеленые и диатомовые водоросли. В отдельные годы диатомовые регистрируются в концентрациях, позволяющих говорить об осеннем максимуме в развитии фитопланктона [23] (рис. 1).

В фитопланктоне Волжско-Камского плеса и в зимний период, и ранней весной в водорослевом комплексе доминируют *Aulacosira islandica* o. Mill.



**Рис. 1.** Динамика общей численности *N* и биомассы *B* основных групп фитопланктона Волжско-Камского плеса Куйбышевского водохранилища. а – 1988, б – 1989, в – 1990, г – 2002 гг.; 1 – синезеленые, 2 – эвгленовые, 3 – динофитовые, 4 – диатомовые, 5 – золотистые, 6 – зеленые.

и *Oscillatoria planctonica* Wotosz., в весенне–летний период – *A. islandica*, *Aulacosira italica* (Ehr.)Kiitz., *Stephanodiscus hantzschii* Crun., *Cyclotella comta* (Ehr.)Kiitz., *Diatoma elongatum* (Lyngb.)Kiitz., *Nitzschia palea* (Kiitz.)W.Sm., *Nitzschia acicularis* W.Sm., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.)Ralfs., в летне–осенний период – *A. islandica*, *A. italica*, *S. hantzschii*, *A. flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* Breb., *Anabaena scheremetievi* Elenk., *Microcystis aeruginosa* Kutz., *Microcystis pulverea* (Wood.) Forti emend. Elenk., *Gomphosphaeria lacustris* Chod., *Scenedesmus quadriquadra* (Turp.)Breb., *Tetrastrum triacantum* Korschik., *Kirchneriella lunaris* (Kirhn.)Moeb., *Trachelomonas volvocina* Ehr., *Trachelomonas planctonica* Swir. Наибольшее видовое разнообразие отмечается в летне–осенний период.

В сезонной динамике фитопланктона наблюдается два пика численности и биомассы – весенне–летний и летне–осенний (308.6 млн. кл/л и 44.0 мг/л соответственно). В летне–осенний период “цветение” воды связано с массовым развитием синезеленых водорослей родов *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*. Воды Волжско-Камского плеса в течение большей части вегетационного сезона относятся к β-мезасапробному типу и соответствуют умеренно-загрязненной зоне.

Межгодовая динамика. При стабильном характере сезонной сукцессии доминирующих в фитопланктоне Куйбышевского водохранилища видов водорослей резко различается по годам их продуктивность (табл. 2, рис. 2). В зависимости от водности

**Таблица 2.** *N*, млн.кл/л, и *B*, мг/л, основных систематических групп фитопланктона Волжско-Камского плеса Куйбышевского водохранилища в мае–октябре 1988–1990 и 2002 гг.

Отдел	<i>N</i>				<i>B</i>			
	1988 г.	1989 г.	1990 г.	2002 г.	1988 г.	1989 г.	1990 г.	2002 г.
Синезеленые	19.4 ± 3.9	95.5 ± 15.2	38.9 ± 26.6	19.8 ± 12.3	6.1 ± 4.5	7.1 ± 1.2	3.1 ± 2.2	1.5 ± 1.0
Эвгленовые	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.2	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	4.6 ± 4.6	5.76 ± 1.2	0.5 ± 0.1	0.3 ± 0.2
Динофитовые	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0	5.6 ± 4.6	1.9 ± 0.5	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2
Диатомовые	3.3 ± 0.9	7.3 ± 1.2	3.3 ± 1.1	5.5 ± 1.0	9.5 ± 4.5	7.7 ± 1.0	2.6 ± 0.6	6.5 ± 1.1
Зеленые	2.0 ± 0.3	3.6 ± 0.4	1.8 ± 0.4	2.3 ± 1.1	5.3 ± 4.6	2.1 ± 0.4	0.7 ± 0.1	5.7 ± 5.5
Всего	24.8 ± 4.2	107.7 ± 15.3	44.3 ± 26.3	27.7 ± 12.9	12.7 ± 4.4	24.6 ± 2.7	7.2 ± 2.1	14.4 ± 4.8

в Куйбышевском водохранилище изменяется направленность развития фитопланктона. На фоне межгодовых флуктуаций фитопланктона выявляется определенный тренд в изменениях количественных показателей. Увеличение продуктивности фитопланктона по времени совпадает с окончанием многоводной фазы, характерной для европейской части России, циклических колебаний увлажненности, когда повышается интенсивность потока биогенов с водосбора и накопление их в донных отложениях водохранилищ [16].

К настоящему времени анализу межгодовой изменчивости фитопланктона в озерах и водохранилищах посвящено много работ, в которых рассмотрены самые разнообразные зависимости от температуры, прозрачности и других факторов, включая солнечную и геомагнитную активность [7–10, 13, 17, 22, 24, 25, 27–30].

Результаты корреляционного анализа выявили слабую связь содержания Хл “а” от гидрометеорологических показателей Волжских водохранилищ, более или менее значимое влияние обнаружено лишь температуры воды и скорости ветра. Также выявлена связь межгодовых колебаний Хл “а” с показателями водности водохранилищ. Наибольшие количественные показатели фитопланктона отмечены в годы с низким уровнем воды [13, 16, 23]. В ряду рассмотренных авторами лет таковыми являются 1975 и 1989 гг.

Температура воды, безусловно, в значительной степени определяет различия продолжительности отдельных сезонов по годам. В летний период биомасса фитопланктона и температура воды в Куйбышевском водохранилище всегда характеризуются положительной корреляцией ( $p < 0,05$ ). Однако значительные вариации содержания фитопланктона при близких термических условиях разных лет указывают, что его изменения регулируются другими факторами. Кроме того, при близких температурах воды в разные годы средние и максимальные концентрации фитопланктона различаются во много раз. Имеется предположение, что среди возможных наиболее вероятны в этом плане условия, определя-

ющие пятнистость в горизонтальном распределении водорослей, или кратковременные нарушения стабильности водных масс [13].

Явления “цветения” и евтрофирования водохранилища, как показывают исследования, всегда начинаются в мелководных зонах, где ветровое перемешивание обеспечивает подток биогенных веществ (БВ) в зону фотосинтеза. Также их развитию благоприятствует достаточно высокая температура воды на этих участках на протяжении большей части периода вегетации. Доминирующие виды водорослей летне–осеннего периода формируют водорослевые сообщества в водохранилище в начале вегетационного сезона следующего года. По нашим наблюдениям, дальнейшее развитие фитопланктона и его состав зависят, главным образом, от уровня режима. Понижение уровня воды неуклонно приводит к превращению более глубоководных участков в мелководные, что делает более доступными БВ, поступающие из донных отложений, для фитопланктона.

Разные годы отличались степенью развития водорослей отдельных систематических групп и, соответственно, структурой альгоценозов по соотношению их численности и биомассы. Так, в 1983 г. при очень низком уровне воды в первой половине лета и при температуре воды выше среднего общая биомасса фитопланктона составляла 25 мг/л. Во второй половине лета произошло искусственное заполнение водохранилища водами вышерасположенных водохранилищ выше отметки 52 м. Хотя поступившая вода содержала в себе достаточное количество клеток фитопланктона и лето было жарким, общая биомасса фитопланктона уменьшилась до 3 мг/л. В дальнейшем в этом году возрастания биомассы водорослей не наблюдалось.

1990 и 2002 гг. были чрезвычайно схожими по уровенному режиму (не ниже отметок 53 м) весной и на протяжении почти всего лета, хотя по метеорологическим условиям эти годы сильно различались (жаркая весна и дефицит атмосферных осадков в 1990 г., холодная весна и превышение нормы осадков в 1.5–2 раза в 2002 г.) (рис. 3). Однако несмотря на это, динамика и состав фитопланктона были

сходными. Развитие синезеленых водорослей не превышало показателей мезосапробной зоны загрязнения. К концу лета 2002 г. понижение уровня воды <51.5 м привело к осенней вспышке численности и биомассы вольвоксовых водорослей *Carteria multifilis* (Fres.) Dill. и видов рода *Chlamydomonas*, которая продолжалась и весной 2003 г. В этот период повысилось содержание в воде растворенных БВ (в частности, нитратов, аммония и соединений Р). Таким образом, понижение уровня воды в водохранилище неизбежно приводит к массовому развитию фитопланктона, если не синезеленых, то видов из других отделов, индикаторов примерно такой же зоны сапробности.

Подобные случаи “цветения” воды в отдельные годы описаны для Чебоксарского, Волгоградского и Саратовского водохранилищ, но они отличались меньшей интенсивностью и массовым развитием других видов фитопланктона [4, 15]. В водохранилищах Среднего Поволжья обычно осенний пик фитопланктона обусловлен вспышкой развития синезеленых или диатомовых водорослей. Осенью 2003 г., а также в другие годы наблюдений такого резкого повышения численности и биомассы вольвоксовых в Куйбышевском водохранилище не отмечалось.

В 1990 г., по погодным условиям более благоприятном для развития фитопланктона, при поддержании уровня воды в водохранилище не ниже 53 м БС повышения биомассы фитопланктона в течение всего лета и осени не наблюдалось.

Таким образом, при ранней и теплой весне и при относительно низком уровне воды в начале лета (<52 м) к середине лета фитопланктон вызывает стойкое “цветение” воды, обусловленное развитием более токсичных и, соответственно, наиболее нежелательных видов синезеленых водорослей из родов *Microcystis* и *Anabaena*. Однако при таких же метеорологических условиях, но при поддержании уровня воды не ниже 53 м показатели фитопланктона не превышают мезотрофного уровня, а “цветение” воды вызывают виды рода *Aphanizomenon*, отличающиеся меньшей токсичностью [3] их экзотоксинов для водных организмов по сравнению с представителями выше названных родов.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что такие климатические факторы как солнечная энергия, скорость ветра и температура воды сами по себе не являются определяющими причинами межгодовых флуктуаций фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Гидрохимические условия водохранилища (такие как прозрачность, цветность, содержание биогенов), как известно, обусловлены, прежде всего, колебаниями уровня воды.

Многие исследователи сходятся во мнении, что реально снизить отрицательные последствия евтрофирования в виде “цветения” воды можно, изменяя некоторые гидрологические и физические

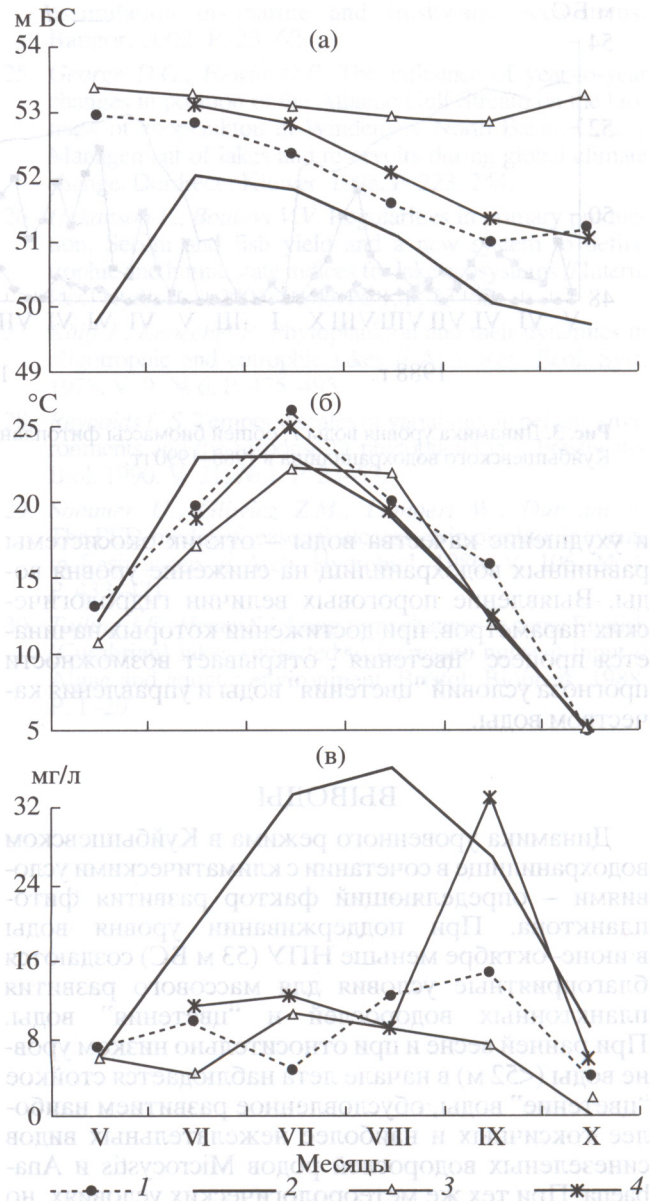


Рис. 2. Динамика уровня режима (а), температуры воды (б), и общей биомассы фитопланктона (в) Волго-Камского плеса Куйбышевского водохранилища. 1 – 1988, 2 – 1989, 3 – 1990, 4 – 2002 гг.

характеристики водоема, в частности, усилением проточности и увеличением водообмена, а также усилением разбавления за счет притока обедненных по БВ вод [8, 21, 26]. Однако в связи с дефицитом воды для ряда регионов метод регулирования интенсивности “цветения” с помощью усиления проточности и увеличения водообмена нереален.

Таким образом, полученные в ходе исследования результаты показывают, что основное регулирующее влияние на развитие фитопланктона Куйбышевского водохранилища может оказывать уровень режим. Повышение трофического статуса

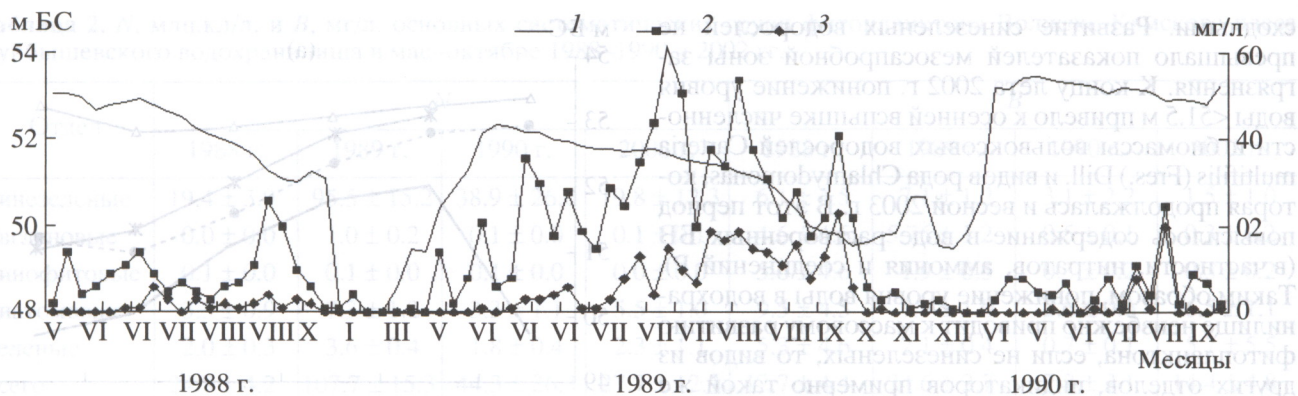


Рис. 3. Динамика уровня воды 1, общей биомассы фитопланктона 2 и синезеленых водорослей 3, Волжско-Камского плеса Куйбышевского водохранилища в 1988–1990 гг.

и ухудшение качества воды – отклик экосистемы равнинных водохранилищ на снижение уровня воды. Выявление пороговых величин гидрологических параметров, при достижении которых начинается процесс “цветения”, открывает возможности прогноза условий “цветения” воды и управления качеством воды.

## ВЫВОДЫ

Динамика уровня режима в Куйбышевском водохранилище в сочетании с климатическими условиями – определяющий фактор развития фитопланктона. При поддержании уровня воды в июне–октябре меньше НПУ (53 м БС) создаются благоприятные условия для массового развития планктонных водорослей и “цветения” воды. При ранней весне и при относительно низком уровне воды (<52 м) в начале лета наблюдается стойкое “цветение” воды, обусловленное развитием наиболее токсичных и наиболее нежелательных видов синезеленых водорослей родов *Microcystis* и *Aphanizomenon*. При тех же метеорологических условиях, но при обеспечении НПУ не <53 м массового развития синезеленых водорослей не происходит, а “цветение” воды вызывают менее токсичные водоросли рода *Aphanizomenon*.

Отрицательные последствия евтрофирования в виде “цветения” воды в Куйбышевском водохранилище можно уменьшить путем поддержания оптимального уровня воды в водохранилище – не менее НПУ (53 м) в летний период.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б. Современные проблемы создания и комплексного использования водохранилищ // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация. М.: ВИНТИ, 1990. № 3. С. 20–59.
2. Вода России. Водоохранилища. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2001. 700 с.
3. Водоросли. Справочник. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
4. Герасимова Н.А. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1996. 200 с.
5. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Куйбышевское и Саратовское водохранилища. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 269 с.
6. Гладышев М.И. Биоманипуляция как инструмент управления качеством воды в континентальных водоемах (обзор литературы 1990–1999 гг.) // Биология внутренних вод, 2001. № 2. С. 3–15.
7. Девяткин В.Г., Вайновский П.А. Сезонная и многолетняя динамика продукционно-деструкционных процессов. Оценка продуктивности фитопланктона. Новосибирск: Наука, 1993. С. 112–117.
8. Девяткин В.Г., Метелева Н.Ю., Митропольская И.В. Гидрофизические факторы продуктивности литорального фитопланктона. Влияние гидрофизических факторов на динамику фотосинтеза фитопланктона // Биология внутренних вод, 2000. № 1. С. 45–52.
9. Девяткин В.Г., Метелева Н.Ю., Митропольская И.В. Гидрофизические факторы продуктивности литорального фитопланктона. Влияние гидрофизических факторов на содержание хлорофилла а // Биология внутренних вод, 2000. № 4. С. 47–52.
10. Девяткин В.Г., Метелева Н.Ю., Митропольская И.В. Гидрофизические факторы продуктивности литорального фитопланктона: оценка и прогноз содержания хлорофилла а и интенсивности фотосинтеза // Биология внутренних вод, 2001. № 1. С. 36–45.
11. Динамика ландшафтов в зоне влияния Куйбышевского водохранилища. СПб.: Наука, 1991. 224 с.
12. Куйбышевское водохранилище. Л.: Наука, 1983. 215 с.
13. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.
14. Минеева Н.М., Пырина И.Л. Исследования пигментов фитопланктона Рыбинского водохранилища // Биология и экология водных организмов. Л.: Наука, 1986. С. 91–105.
15. Оханкин А.Г. Фитопланктон Чебоксарского водохранилища. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. 275 с.

16. Паутова В.Н., Номоконова В.И. Продуктивность фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. 188 с.
17. Пырина И.Л. Многолетние исследования содержания пигментов фитопланктона Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 37–44.
18. Пырина И.Л., Минеева Н.М. Содержание пигментов фитопланктона в водной толще Рыбинского водохранилища // Флора и продуктивность пелагических и литоральных фитоценозов водоемов бассейна Волги. Л.: Наука, 1990. С. 176–188.
19. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М.: Университет и школа, 2003. 200 с.
20. Сиренко Л.А. Физиологические основы размножения синезеленых водорослей в водохранилищах. Киев: Наук. думка, 1972. 204 с.
21. Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. "Цветение" воды и эвтрофирование. Киев: Наук. думка, 1978. 232 с.
22. Трифонова И.С. Сезонная и основная сукцессия озерного фитопланктона // Гидробиол. журн. 1986. Т. 22. № 3. С. 21–28.
23. Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Л.: Наука, 1989. 304 с.
24. George D.G. Regional-scale influences on the long-term dynamics of lakes // Phytoplankton productivity. Carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems. Bangor, 2002. P. 23–62.
25. George D.G., Hewitt D.P. The influence of year-to-year changes in position of the Atlantic Gulf Stream on the biomass of zooplankton in Windemere North Basin, U.K. // Management of lakes and reservoirs during global climate change. Dordrecht : Kluwer, 1998. P. 223–244.
26. Hakanson L., Boulion V.V. Regularities in primary production, Secchi and fish yield and a new system to define trophic and humic state indices for lake ecosystems // Intern. Rev. Hydrobiol. 2001. V. 86. № 1. P. 23–62.
27. Kalff J., Knoechel R. Phytoplankton and their dynamics in oligotrophic and eutrophic lakes // Ann. Rev. Ecol. Syst. 1978. V. 9. № 6. P. 475–495.
28. Reynolds C.S. Temporal scales of variability in pelagic environments and the response of phytoplankton // Freshwater Biol. 1990. V. 21. № 1. P. 23–53.
29. Sommer U., Gliwicz Z.M., Lampert W., Duncam A. The PED-model of seasonal succession in planktonic events in fresh waters // Arch. Hydrobiol. 1986. V. 106. № 4. P. 433–471.
30. Talling J.F., Heney S.I. Long-term changes in some English (Cumbrian) lakes subjected to increased nutrient input // Algae and aquatic environment. Bristol: Biopress, 1988. P. 1–29.