

УДК 574.583; 574.55 (282.247.41)

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В КУЙБЫШЕВСКОМ И САРАТОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ В ЛЕТНИЕ СЕЗОНЫ 2009-2011 ГГ.

© 2013 В.И. Номоконова, В.Н.Паутова

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Поступила в редакцию 25.05.2013

В данной статье продолжено обсуждение ранее опубликованных материалов [1, 2] по динамике продукционно-деструкционных процессов в летний сезон 2009-2011 гг. в связи с климатическими и погодными условиями на современном этапе существования нижеволжских водохранилищ.

Ключевые слова: хлорофилл «а», фотосинтез водорослей, первичная продукция, деструкция органического вещества.

Исследования первичной продукции в водохранилищах Нижней Волги были начаты в 1957 г. [3, 4] и в дальнейшем проводились в годы с разными гидрометеорологическими режимами. Особый интерес представляют материалы исследований, выполненных в 2010 г. с рекордно жарким летом, отличавшимся как одна из самых крупных в мире климатических аномалий текущего года [5]. Поволжье находилось в центре летней жары. Месячный приход солнечной радиации на европейской части России превышал норму на 40-50 %. Максимальные температуры приземного слоя воздуха в июле в г. Самара за редким исключением держались на отметках 30-38°C. Общая картина изменений температуры указывала на продолжающую тенденцию к потеплению и практически повторяла картину трендов за 1976-2008 гг. [5]. 2011 г. вошел в России в 5 самых теплых лет за период наблюдений. В 2009 г. температура приземного слоя воздуха на большей территории России также была выше нормы, но к экстремально высокой не относилась.

Цель данной работы – оценка показателей первичной продукции планктона в аномально жарком 2010 г. в водохранилищах с разными гидрологическими режимами и в 2009, 2011 гг. при неустойчивых погодных условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Куйбышевское водохранилище по площади водного зеркала занимает второе место в мире и самое крупное в Волжском каскаде (рис. 1). Ниже слияния Волги и Камы представляет цепочку об-

ширных озеровидных расширений. Для водохранилища характерно сезонное регулирование стока и низкий водообмен – 4,1 раз в год. Саратовское водохранилище напоминает медленно текущую реку с менее крупными расширениями по участкам затопленной поймы. Водообмен в 4,5 раз выше – 17,97 раз в год.

Верхние районы водохранилищ отличаются высокой скоростью течения воды, весенней паводковой волной и ценогической структурой фитопланктона. В Волжском и Камском плесах Куйбышевского водохранилища в летний и позднелетний - раннеосенний биологические сезоны по биомассе преобладают диатомовые водоросли, как и чаще в Волго-Камском плесе, в озеровидных плесах от Ундорского до Приплотинного – в основном синезеленые (рис. 2). В Саратовском водохранилище, предназначенном в основном для пропуска сбрасываемого из Куйбышевского потока воды, соотношение биомасс диатомовых и синезеленых водорослей по длинной оси водоема достаточно равномерно.

Для определения содержания хлорофилла «а» (Хл) в 2010 г. пробы отбирали в поверхностном слое воды, интегрированные в эвфотной, афотической зонах и у дна. В 2009 г. в Куйбышевском водохранилище измерения проводили по той же схеме. В Саратовском водохранилище в 2011 г. Хл определялся в поверхностном горизонте и в придонном на 5 станциях нижнего района. Концентрацию Хл определяли, измеряя оптическую плотность экстрактов фотосинтетических пигментов в 90% ацетоне и используя расчеты по формулам, разработанным группой ЮНЕСКО [8]. Для определения интенсивности фотосинтеза водорослей и деструкции органического вещества (ОВ) был использован скляночный метод в его кислородной модификации при экспонировании склянок в суточном режиме в инкубаторе на палубе судна. Первичную продукцию под 1 м² рассчитывали по формуле В.В. Бульона [9]. Содерж-

Номоконова Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.

E-mail: vnomokonova@mail.ru

Паутова Валентина Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.

E-mail: vnpautova@mail.ru

жение растворенного кислорода, рН среды и биогенных элементов измеряли по [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рейс 8-14 августа 2009 г. по длинной оси Куйбышевского водохранилища начинался при интенсивной циклонической деятельности в атмосфере, сменившей господствующие летом продолжительные антициклоны. К окончанию рейса она ослабевала, и наблюдения в озеровидных расширениях выполнялись при значительно меньшем перемешивании водных масс или при штиле. Температура воды на станциях наблюде-

ний колебалась от 19 до 22,6 °С (рис. 3). 17-24 июля 2010 г. при устойчивом теплом антициклоне температура воды по акватории Куйбышевского водохранилища была значительно выше - в пределах 23,4-29°С. По акватории Саратовского 21-26 июня 2010 г. в верховьях при высокой скорости течения она изменялась от 18 до 20 °С и увеличивалась до 22-27 °С в его нижней части. Рейс по Саратовскому водохранилищу 25-28 июня 2011 г. проходил при неустойчивых погодных условиях и при меньшем прогреве водных масс, преимущественно до 19°С.

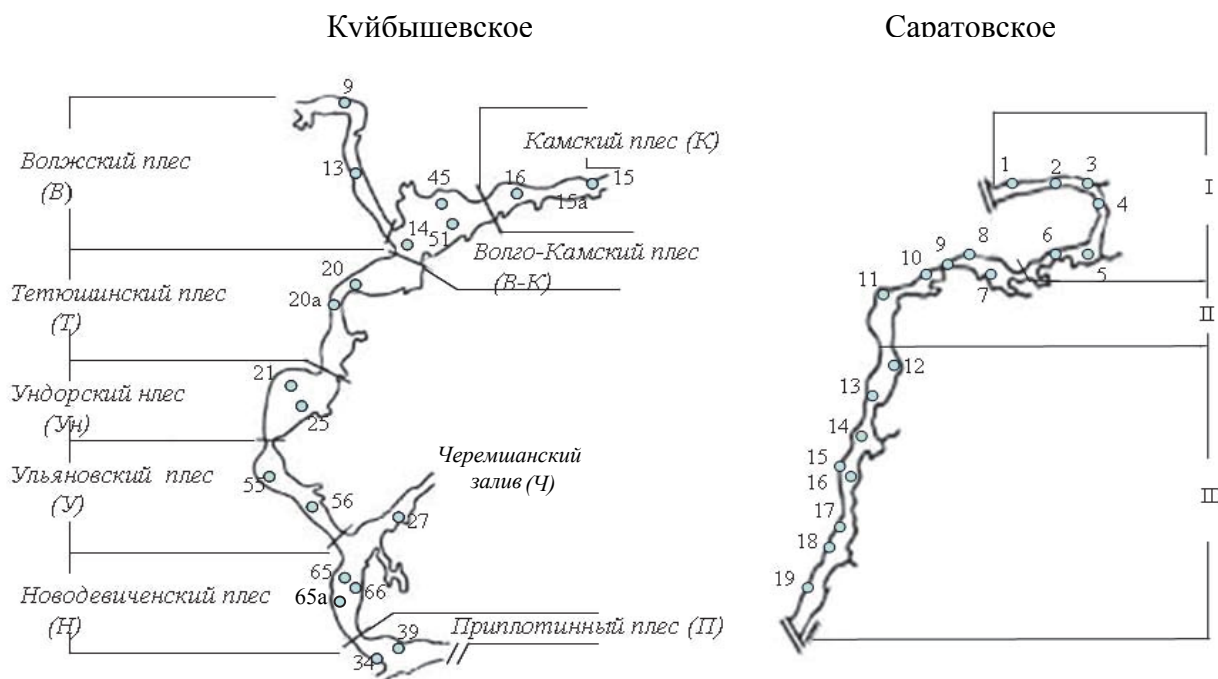


Рис. 1. Схема водохранилищ и расположение станций наблюдений. Приведена схема районирования Куйбышевского водохранилища по: Н.А. Дзюбан [6], Саратовского - по Н.А. Герасимовой [7]

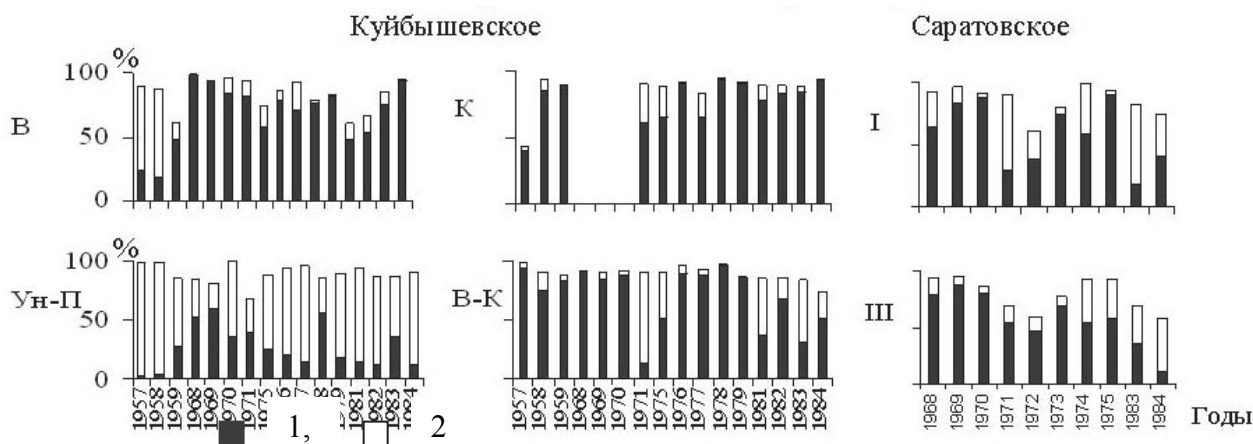


Рис. 2. Соотношение биомассы диатомовых (1) и синезеленых (2) водорослей в процентах от общей в июле-сентябре разных лет в разных плесах Куйбышевского водохранилища и в июне-августе в верхнем (I) и нижнем (III) районах Саратовского.

Плесы: В – Волжский, К – Камский, В-К – Волго-Камский, Ун-П – от Ундорского до Приплотинного.

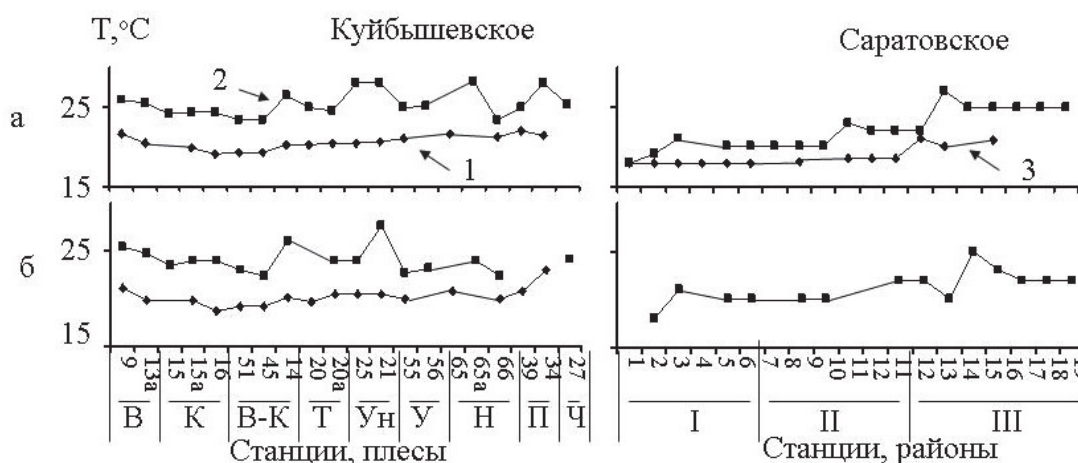


Рис. 3. Изменение по длинной оси водохранилищ температуры воды ($T, ^\circ\text{C}$) на станциях наблюдений в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах. 1 – 2009, 2 – 2010, 3 – 2011 гг. Полные названия плесов даны на рис. 1. Районы: I – верхний, II – средний, III – нижний.

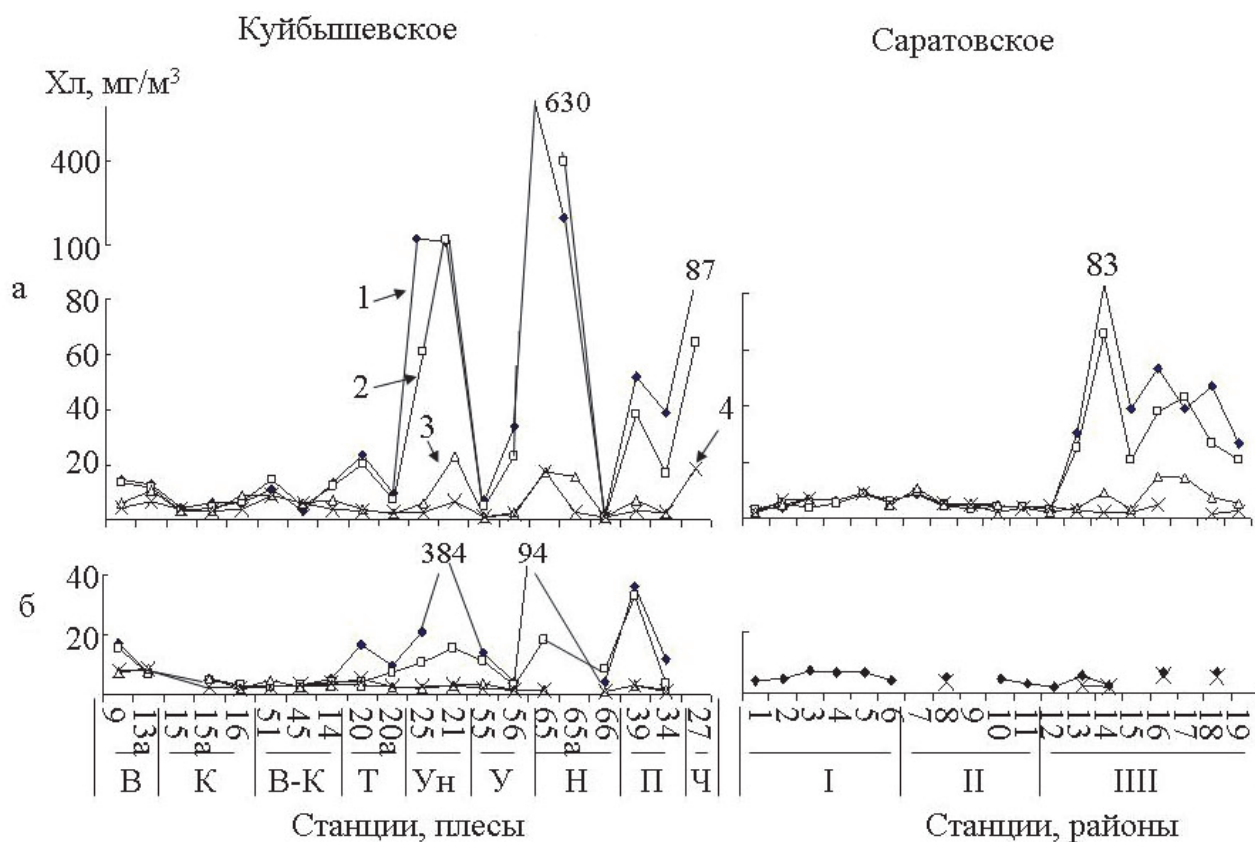


Рис. 4. Динамика содержания Хл ($\text{мг}/\text{м}^3$) в поверхностном (1), эвфотном (2), афотическом (3) и придонном (4) горизонтах водохранилищ в 2010 г. (а) и 2009, 2011 гг. (б).

Верхние районы водохранилищ (рис. 4), сохраняющие речной режим, отличались сравнительно низким содержанием Хл, характерным для мезотрофных водоемов или нижней границе эвтрофных водоемов – в июле 2010 г. в Куйбышевском водохранилище, близкими его концентрациями в поверхностном и придонном горизонтах и меньшей пространственной вариабельностью. В озеровидных расширениях Куйбышевского водо-

охранилища в 2009 и 2010 гг. и в озерно-речном районе Саратовского в 2010 г. развивались обширные поля «цветения» воды, в Куйбышевском водохранилище разделяемые участками с низким обилием водорослей.

Наибольшая продуктивность фитопланктона наблюдалась в июле экстремально жаркого 2010 г. в Куйбышевском водохранилище. Абсолютный максимум содержания Хл на ст. 65 в по-

верхностном горизонте достигал 630 мг/м^3 , в слое 0-1 м – 909, в августе 2009 г. – 384,0, в Саратовском водохранилище в июне 2010 г. – $83,0 \text{ мг/м}^3$. В других водохранилищах Волги максимальное содержание Хл в августе разных лет равнялось 96 (Иваньковское, 1995 г.), 102,4 (Рыбинское, 1989 г.), 73,1 (Угличское, 1999), 88,3 (Горьковское, 1992 г.) [11], 497 (Чебоксарское, 1985) [12] и 223 мг/м^3 (Волгоградское, 1988 г.) [13].

Ранее зарегистрированные максимумы Хл в пелагиали Куйбышевского водохранилища не превышали 247 мг/м^3 , в холодные и многоводные годы снижались до 28 мг/м^3 (1994 г.). Экстремальными они были только в прибрежной зоне:

- $1,5 \text{ г/м}^3$ в Приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища вблизи г. Тольятти в 2007 г.,

- 180 г/м^3 в обширном пятне «цветения» воды у г. Ульяновск, начинавшемся от береговой линии в августе 1985 г. В то же время на других станциях в Ульяновском плесе содержание Хл не превышало 35 мг/м^3 .

Его пики в июле 2010 г. в Куйбышевском водохранилище наблюдались на станциях 25 и 21 (в Ундорском плесе), 65 и 65а (в Новодевиченском), 39 (в Приплотинном) и 27 (в Черемшанском заливе). При длительном теплом антициклоне максимумы Хл сформировались в поверхностном слое воды или (и) в эвфотной зоне, повышенным при этом его содержание было и по всей вертикали: в эвфотной зоне до $23,3 \text{ мг/м}^3$, на ст. 65, 27 – и у дна до $17,6\text{-}18,5 \text{ мг/м}^3$.

В августе 2009 г., как отмечалось выше, наблюдения в озеровидных расширениях проводились при развитии антициклональных процессов, и также при формировании «цветения» воды. Но на начальной стадии эвтрофирования наиболее высокие концентрации Хл (на станциях 21 – 384 и 65 – 94 мг/м^3) отмечались только в поверхностном слое воды, в эвфотной зоне его содержание не превышало 18, у дна $1,8\text{-}3,2 \text{ мг/м}^3$.

«Цветение» воды в июне 2010 г., наблюдавшееся в озерно-речном районе Саратовского водохранилища с высоким водообменном, значительно уступало развивавшемуся в Куйбышевском, но закономерности изменения содержания Хл по вертикали были близкими к отмечаемым в Куйбышевском водохранилище в июле 2010. В июне 2011 г. при неустойчивых погодных условиях содержание Хл в поверхностном слое воды было крайне низким и изменялось от 1,2 до $7,6 \text{ мг/м}^3$.

Прозрачность воды по диску Секки в Куйбышевском водохранилище в 2010 г. изменялась в пределах 0,4-2,5 м (на ст. 65 была близка к 0 м), в 2009 г. – 1,4-3, в Саратовском – 1-3 м. На рис. 5. показано соотношение между содержанием Хл и прозрачностью воды. Как видно, при эвтрофировании водохранилищ в экстремальном 2010 г. прозрачность воды определялась в основном содержанием Хл, в другие годы качество вод улучшалось, и связь Хл с прозрачностью ослабевала.

Как и ранее, наблюдалась тесная связь между содержанием Хл и общего фосфора (рис. 6).

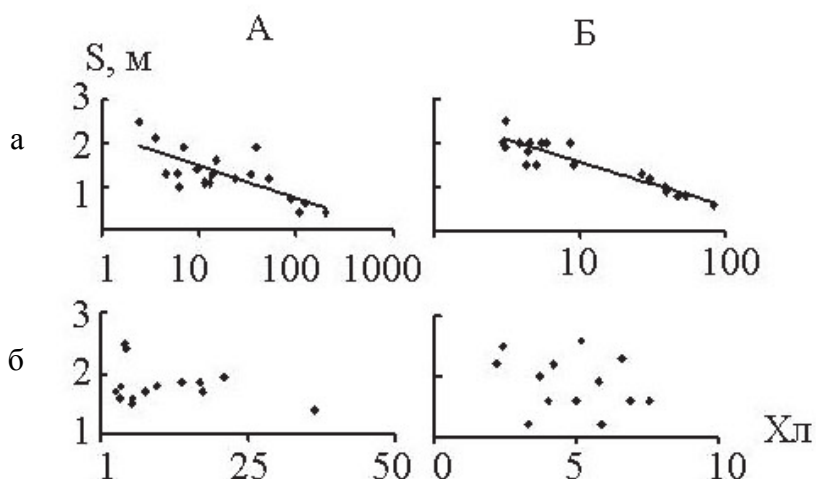


Рис. 5. Соотношение между содержанием Хл (мг/м^3) и прозрачностью воды (S) в Куйбышевском (А) и Саратовском (Б) водохранилищах в 2010 г. (а) и 2009, 2011 гг. (б)

Фотосинтез водорослей, первичная продукция под 1 м^2 и деструкция ОВ (рис. 7, 8) в Куйбышевском водохранилище определялись на всех станциях наблюдений (кроме ст. 65 в 2010 г. с максимальным обилием фитопланктона). В Саратовском водохранилище измерения проводились на большинстве станций в верхних районах и на 4-х

– в озерно-речном районе при содержании Хл в поверхностном слое воды $26,7\text{-}39,1 \text{ мг/м}^3$. Динамика по длинной оси водохранилищ интенсивности фотосинтеза и первичной продукции в основном совпадала с изменениями содержания Хл.

Интенсивность фотосинтеза водорослей в Куйбышевском водохранилище в июле 2010 г.

была выше, чем в августе 2009 г., и выше, чем в предыдущие годы наблюдений в волжских водохранилищах (таблица). В Саратовском водохранилище абсолютный максимум наблюдался в августе маловодного и теплого 1975 г. – 5,7 при биомассе 34,11, в пересчете на Хл – 68 мг/м³. В июне 2010 г. он равнялся 4,44 мг О₂/л · сут. при содержании Хл, равном 38,9 мг/м³. Как видно,

максимум фотосинтеза водорослей в 2010 г. был занижен, т.к. пик Хл достигал 83,0 мг/м³.

Наибольший размах показателей скорости фотосинтеза планктона наблюдался в Новодевиченском плесе: на русловой ст. 65а – 18,38, на мелководной ст. 66 – 0,71 мг О₂/л · сут. при содержании Хл, соответствующем 405,0 и 2,4 мг/м³.

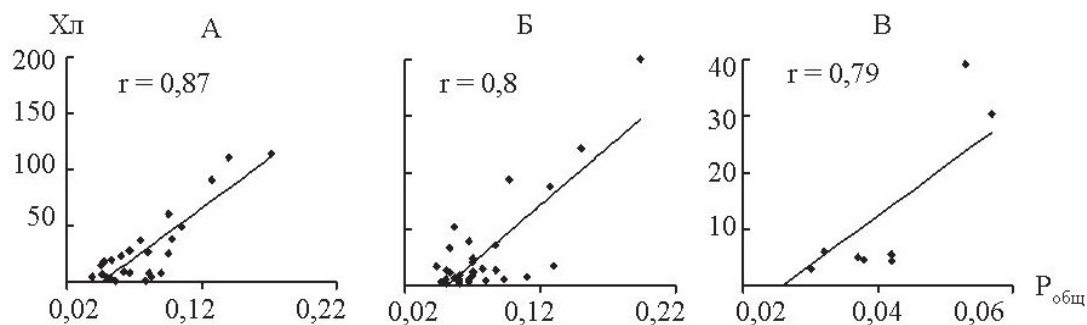


Рис. 6. Связь содержания хлорофилла "а" (Хл, мг/м³) с общим фосфором (Р, мг/л) в Куйбышевском водохранилище в июне-августе 1985 г. (А), в августе 2009 и июле 2010 гг. (Б) и в Саратовском в июне 2010 г. (В)

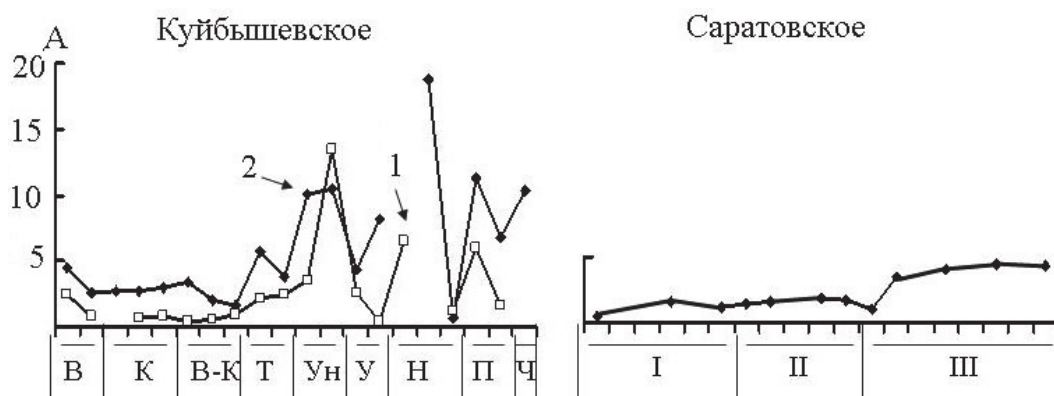


Рис. 7. Динамика интенсивности фотосинтеза водорослей в водохранилищах (А, мг О₂/л · сут.) в 2009 (1) и 2010 (2) гг. Остальные обозначения см. на рис. 1,3

Таблица. Максимальные величины фотосинтеза водорослей (А) в волжских водохранилищах и годы их регистрации

| Водохранилище | А, мг О ₂ /л · сут. | Источник |
|---------------|--------------------------------|----------|
| Иваньковское | 15,9 (1981) | [14] |
| Угличское | 3,73 (1991) | [15] |
| Рыбинское | 6,95 (1989) | [15] |
| Горьковское | 6,98 (1989) | [15] |
| Чебоксарское | 7,15 (1989) | [15] |
| Куйбышевское | 18,83 (2010) | [2] |
| Саратовское | 5,72 (1975) | [7] |
| Волгоградское | 5,3 (1990) | [15] |

Максимальные величины первичной продукции – 13,5 г О₂/м² · сут. и минерализации ОВ –

22,92 г О₂/м² · сут. (рис. 8) в Куйбышевском водохранилище в 2010 г. также были выше, чем ра-

нее полученные в волжских водохранилищах – соответственно, 5,83-10,4 и 5,95-16,29 г $O_2/m^2 \cdot сут.$ [15]. Исключений 2: экстремальная первичная продукция (15,1 г $O_2/m^2 \cdot сут.$) в 1957-1959 гг., в первые годы существования Куйбышевского водохранилища и экстремальная деструкция в 1972 г. в Саратовском - 45,0 г $O_2/m^2 \cdot сут.$ на русловой станции у с. Монастырское, но на других участках она не превышала 12,87 г $O_2/m^2 \cdot сут.$ [16].

Деструкция ОВ превышала первичную продукцию, особенно в Саратовском водохранилище:

в 2010 г. отношение П/Д в Саратовском водохранилище равнялось 0,3, в Куйбышевском – 0,7.

Зависимость скорости деструкции ОВ от фотосинтеза планктона показана на рис. 9. Как видно, коэффициенты корреляции высокими были по данным определения в Куйбышевском водохранилище в 2009 и в Саратовском в 2010 гг. и ниже в 2010 г. в Куйбышевском водохранилище. Обращает внимание и повышенная величина свободного члена (аллохтонная составляющая ОВ) на рисунках, составленных по результатам наблюдений в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах в 2010 г.

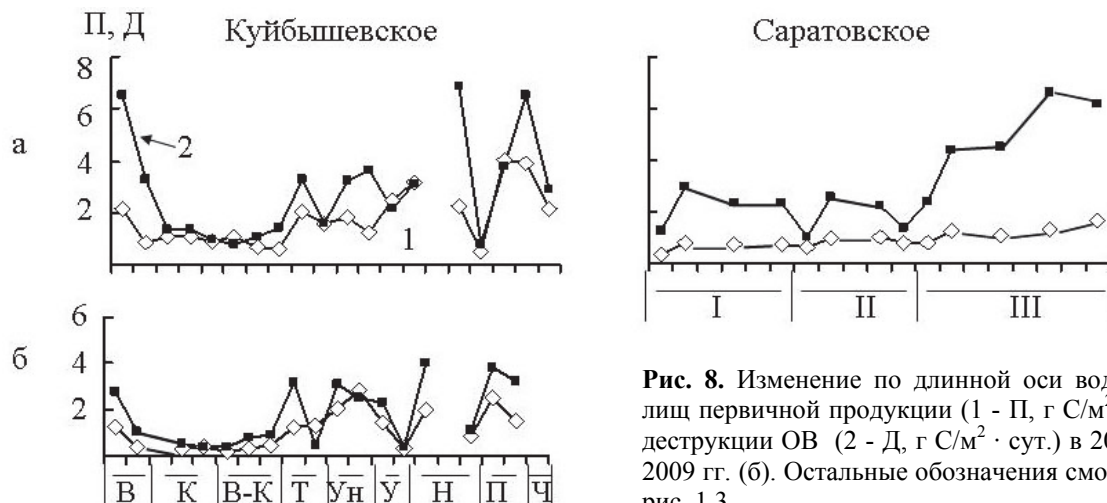


Рис. 8. Изменение по длинной оси водохранилищ первичной продукции (1 - П, г $C/m^2 \cdot сут.$) и деструкции ОВ (2 - Д, г $C/m^2 \cdot сут.$) в 2010 (а) и 2009 гг. (б). Остальные обозначения смотрите на рис. 1,3

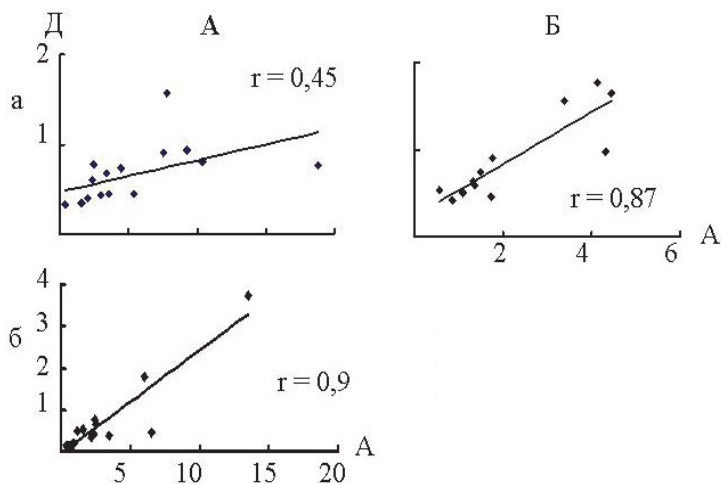


Рис. 9. Зависимость скорости деструкции ОВ (Д, мг $O_2/л \cdot сут.$) от интенсивности фотосинтеза планктона (А, мг $O_2/л \cdot сут.$) в Куйбышевском (А) и Саратовском (Б) водохранилищах в 2010 (а) и 2009 гг. (б)

Интенсивный фотосинтез водорослей в экстремальном 2010 г. сопровождался обогащением поверхностных горизонтов кислородом и его снижением в придонном, в Куйбышевском водо-

охранилище до величин ниже ПДК (рис. 10.). Наблюдается высокая зависимость между его содержанием в поверхностном слое воды и фотосинтезом водорослей (рис. 11).

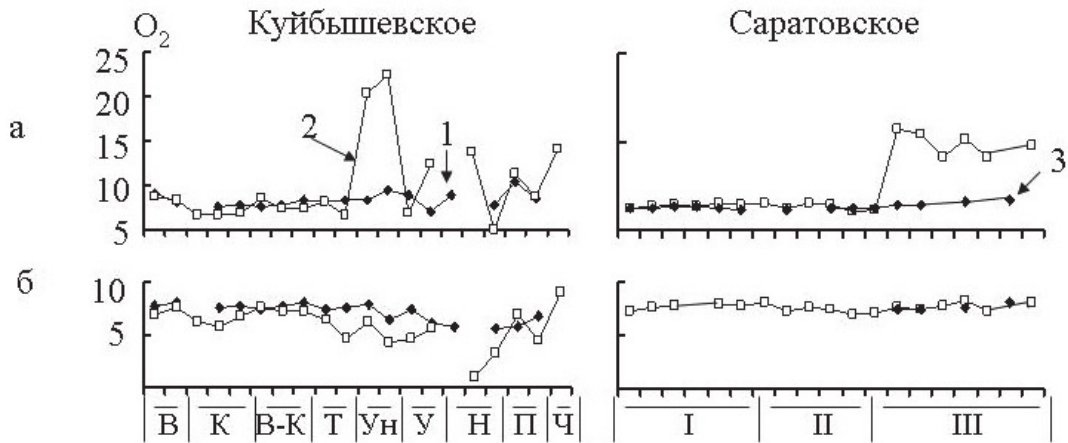


Рис. 10. Изменение по длине оси водохранилищ концентрации кислорода в поверхностном (а) и придонном (б) слоях воды в водохранилищах в 2009 (1), 2010 (2) и 2011 (3) гг. Остальные обозначения смотрите на рис. 1,3

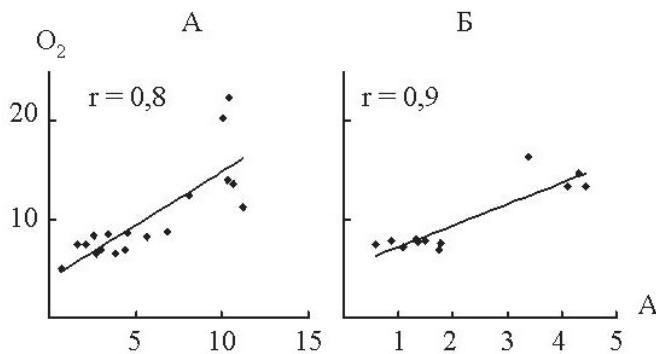


Рис. 11. Зависимость содержания кислорода (O_2 , мг/л) в поверхностном слое воды от интенсивности фотосинтеза водорослей (А, мг O_2 /л · сут) в Куйбышевском (А) и Саратовском (Б) водохранилищах.

Интенсивное развитие фитопланктона отражается и на величине рН (рис. 12). Наиболее высокие ее величины наблюдали в поверхностном слое воды в июне и июле экстремального 2010 г. Поглощение диоксида углерода в процессе фотосинтеза приводило к смещению карбонатного

равновесия, сопровождающегося увеличением рН. Соответственно в обоих водохранилищах наблюдалось подщелачивание воды и прямая связь между фотосинтезом водорослей и величиной рН (рис. 13).

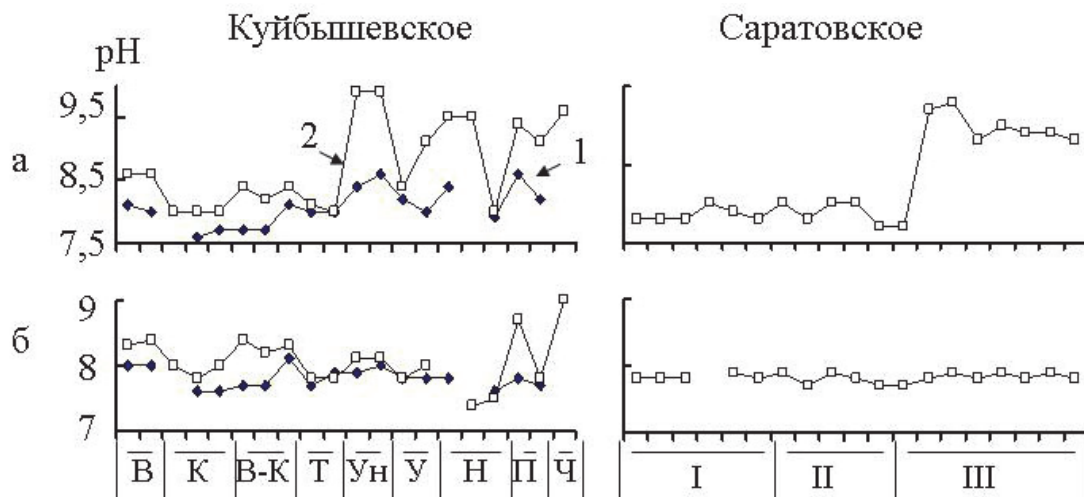


Рис. 12. Изменение по длине оси водохранилищ кислотности воды (рН) в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах в 2009 (1) и 2010 (2) гг. Остальные обозначения смотрите на рис. 1,3

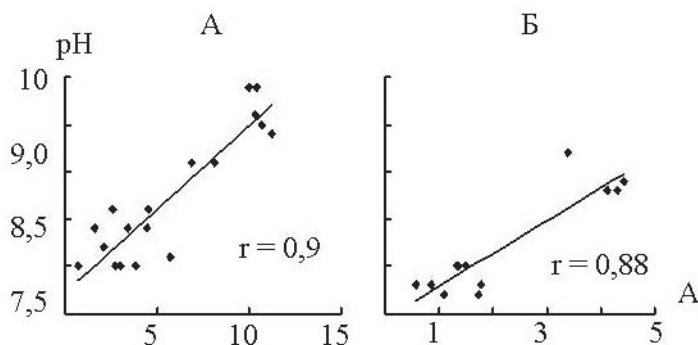


Рис. 13. Связь кислотности воды (рН) с интенсивностью фотосинтеза планктона (А, мг О₂/л ·сут.) в Куйбышевском (А) и Саратовском (Б) водохранилищах в 2010 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение первичной продукции планктона в водоемах и систематизация получаемых данных имеет длительную историю [17, 18 и др.]. В последнее время задачи, решаемые гидробиологией, дополняются вопросами разработки прогноза реакции водных экосистем на климатические изменения и прежде всего – продукции фитопланктона. В этом плане необходимы количественные данные, получаемые при наблюдениях в годы с аномально жарким летом. Впервые с 1936 г., когда сформировалась основная сеть метеорологических наблюдений, таким оказался 2010 г. - при аномалии температуры воздуха на территории европейской части России в июле, равной + 5,83 °С [5]. Проведение исследований в 2010 г. в водохранилищах с разной скоростью водообмена показало, что по всем показателям – скорость фотосинтеза, продукция фитопланктона под 1 м², содержание Хл [18], реакция первичной продукции на резкое увеличение температуры воды определяется скоростью течения воды. В 2010 г. она максимальной была в Куйбышевском водохранилище при скорости водообмена 4,1 раз в год и ниже в Саратовском, скорость водообмена в котором равна 17,97 раз в год. Абсолютные максимумы, зарегистрированные в Куйбышевском водохранилище в 2010 г., практически превышали ранее отмеченные во всех волжских водохранилищах. Определены соотношения между показателями первичной продукции и факторами, с ними связанными: содержанием общего фосфора, растворенного кислорода и величины рН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Номоконова В.И. Динамика содержания хлорофилла «а» в водных массах и донных отложениях нижеволжских водохранилищ // Бассейн Волги в XXI –м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Сб. материалов докладов Всероссийской конференции. ИБВВ РАН. п. Борок, 22-26 октября 2012. Ижевск: Издатель Пермьяков С.А., 2012. С. 197-200.
2. Номоконова В.И., Паутова В.Н. Первичная продукция и деструкция органического вещества в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах в 2009-2010 гг. //Бассейн Волги в XXI –м веке: структура и функцио-

нирование экосистем водохранилищ. Сб. материалов докладов Всероссийской конференции. ИБВВ РАН. п. Борок, 22-26 октября 2012. Ижевск: Издатель Пермьяков С.А. С. 200-203.

3. Пырина И.Л. Фотосинтетическая продукция в Волге и ее водохранилищах // Бюлл. Ин-та биол. водохранилищ, 1959. №3. С. 17-20.
4. Пырина И.Л. Первичная продукция фитопланктона в Ивановском, Рыбинском и Куйбышевском водохранилищах в зависимости от некоторых факторов // Продукцирование и круговорот органического вещества во внутренних водоемах: Тр. ИБВВ АН СССР. 1966. Вып. 13 (16).С. 249-269.
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 г.[Электронный ресурс]. – Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2011. 66 с. Режим доступа: <http://WWW.meteorf.ru/>, свободный.
6. Дзюбан Н.А. О районировании Куйбышевского водохранилища // Бюлл. Ин-та биол. водохранилищ АН СССР. 1960. С. 53-56.
7. Герасимова Н.А. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1996. 200 с.
8. Determination of photosynthetic pigments in sea water // Monographs on oceanographic methodology. Paris. UNESCO, 1966. P. 9-18.
9. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука. 1983. 150 с.,
10. Унифицированные методы анализа вод СССР. Выпуск 1. Л., 1978. с.
11. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.
12. Минеева Н.М., Абрамова Н.Н. Пигменты фитопланктона как показатели экологического состояния Чебоксарского водохранилища // Водные ресурсы, 2009. Т.36, № 5. С. 588-596.
13. Паутова В.Н., Номоконова В.И. Продуктивность фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Тольятти, 1994. 188 с.
14. Пырина И.Л., Ляшенко Г.Ф. Многолетняя динамика продуктивности фитопланктона и высшей водной растительности и их роль в продуцировании органического вещества в зарастающем Ивановском водохранилище // Биология внутренних вод. 2005.№ 3. С. 48-56.
15. Минеева Н.М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус, 2009. 279 с.
16. Дзюбан А.Н. Первичная продукция и деструкция органического вещества в воде Саратовского водохранилища в 1972 г. // Биол. внутр. вод. Информ. бюлл. 1976. № 31. С. 13-16.
17. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. – 329 с.

18. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах. СПб.: Наука, 1994. 222 с.

**THE PHYTOPLANKTON PRIMARY PRODUCTION IN THE KUIBYSHEV
AND SARATOV RESERVOIRS IN SUMMER SEASON 2009-2011 YEARS**

© 2013 V.I. Nomokonova, V.N. Pautova

Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Togliatti

In given article the before published materials [1, 2] on dynamics of phytoplankton primary production and destruction of organic matter the received during a summer season 2009-2011 years ere discussed with a climatic and weather conditions at the existence present stage of the Kuibyshev and Saratov reservoirs.

Key words: chlorophyll *a*, photosynthesis of phytoplankton, primary production, destruction of organic matter.

Nomokonova Valentina Ivanovna, Candidate of Biology.

E-mail: vnomokonova@mail.ru

Pautova Valentina Nikolaevna, Candidate of Biology.

E-mail: vnpautova@mail.ru