

Л. Г. Корнева, В. В. Соловьева

Опыт использования морфофункциональной классификации пресноводных водорослей для оценки динамики и пространственного распределения ассоциаций фитопланктона Рыбинского водохранилища

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 11-05-01067-а.

В статье приводятся данные о составе доминирующих родов и видов фитопланктона Рыбинского водохранилища в 2000–2005 гг. На основании морфофункциональной классификации пресноводного фитопланктона [8] показано, как изменяется состав его основных ассоциаций с различными типами адаптивных стратегий в ходе сезонной динамики и в различных плесах Рыбинского водохранилища.

Ключевые слова: фитопланктон, Рыбинское водохранилище, морфофункциональные группы.

L. G. Korneva, V. V. Solovyeva

Experience in Use of Morpho-Functional Classification of Freshwater Algae to Assess Dynamics and Spatial Distribution of Phytoplankton Associations in the Rybinsk Reservoir

Composition of dominant genera and species of phytoplankton in the Rybinsk Reservoir in 2000–2005 is presented. According to morphological and functional classifications of freshwater phytoplankton [8] it is shown how the composition of the main phytoplankton associations with different adaptive strategies in seasonal succession and in various reaches of the Rybinsk Reservoir changes.

Keywords: phytoplankton, the Rybinsk Reservoir, morphological and functional groups.

Структура фитопланктона значительно варьируется в зависимости от условий водной среды. Исходя из того, что к тем или иным абиотическим условиям функционально адаптирована группа видов, сходных по толерантности к определенному(ым) фактору(ам), чем и объясняется их общее местообитание, была разработана морфофункциональная классификация, состоящая из 31 экологической группы фитопланктона [8], с целью прогнозирования последствий влияния антропогенных и природных факторов на водные экосистемы. В ее основе лежит идея создания ценосистемы планктонных водорослей по аналогии с синтаксонами, выделяемыми для классификации растительности в фитоценологии [6].

Задача данной работы – выявить закономерности сезонной динамики и распределения по плесам Рыбинского водохранилища ведущих морфофункциональных групп фитопланктона в 2000–2005 гг.

Материал и методы исследования

Для реализации поставленной задачи проводили анализ таксономического состава, оценку

численности и биомассы фитопланктона Рыбинского водохранилища, собранного на 22-х станциях, расположенных в различных плесах с мая по октябрь 2000–2005 гг. (197 проб).

Рыбинское водохранилище (площадь 4550 км², средняя глубина 5,6 м, коэффициент условного водообмена 1,9) относится к разряду крупнейших водохранилищ мира котловинно-долинного типа с глубоким сезонным регулированием. Акватория водохранилища имеет сложную морфометрию и состоит из трех плесов: Волжский, Шекснинский, Моложский, представляющих расширенные русла впадающих в него крупных рек (Волга, Шексна и Молога), и озеровидного центрального расширения (Главный плес). Их воды различаются по гидрологическим и физико-химическим показателям [5].

Отбор проб осуществляли пластмассовым метровым батометром системы Элморка объемом 4 л последовательно с каждого метрового горизонта от поверхности до дна, смешивая затем в одну интегральную. Пробы воды концентрировали путем прямой фильтрации поочередно через мембранные фильтры с диаметром пор 5 и

1,2 мкм под давлением не более 2,03–3,04 кПа. Консервацию живого фитопланктона осуществляли раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты. Численность водорослей подсчитывали в камере «Учинская» объемом 0,02 мл, биомассу определяли счетно-объемным методом [3] при 450-кратном увеличении. Для выделения комплексов доминирующих видов использовали их частоту встречаемости и доминирования. Под встречаемостью понимали % соотношение числа проб, в которых был отмечен вид, и общего числа проанализированных проб. Под частотой доминирования понимали % соотношение числа проб, в которых численность и биомасса вида составляли не менее 10 % от суммарной численности и биомассы фитопланктона, и общего числа проанализированных проб. Вид относили к ведущему, если

степень его доминирования варьировала в диапазоне 11–40 %, а степень встречаемости составляла 40–70 %. Функциональные группы фитопланктона выделяли по [8] с дополнениями [7].

Результаты и обсуждение

В период исследований в Рыбинском водохранилище по численности преобладали сине-зеленые (Cyanophyta), по биомассе – диатомовые водоросли (Bacillariophyta) [4]. Наибольший вклад в общую численность фитопланктона вносили сине-зеленые водоросли из родов *Aphanizomenon* Mott. и *Microcystis* (Kütz.) Elenk. (табл. 1), а в общую биомассу – диатомовые из рода *Aulacoseira* Thw., за исключением Волжского плеса, где преимущественно развивались виды из рода *Stephanodiscus* Ehr. (46 %).

Таблица 1

Средняя относительная численность и биомасса доминирующих родов водорослей фитопланктона в различных плесах Рыбинского водохранилища в 2000–2005 гг.

| Род | Численность, % | | | | | Биомасса, % | | | | |
|-----------------------|----------------|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|
| | Во | М | Ш | Г | Рв | Во | М | Ш | Г | Рв |
| <i>Microcystis</i> | 33 | 14 | 50 | 39 | 38 | 6 | 4 | 16 | 14 | 12 |
| <i>Aphanizomenon</i> | 38 | 59 | 26 | 48 | 44 | 8 | 19 | 12 | 27 | 21 |
| <i>Aulacoseira</i> | 1 | 11 | 3 | 2 | 3 | 8 | 51 | 26 | 29 | 29 |
| <i>Stephanodiscus</i> | 8 | 3 | 3 | 1 | 2 | 46 | 8 | 20 | 12 | 17 |

Примечание: Во – Волжский плес; М – Моложский плес; Ш – Шекснинский плес; Г – Главный плес; Рв – Рыбинское водохранилище.

Комплекс доминирующих видов, характеризующихся наибольшими частотами встречаемости и доминирования в течение 2000–2005 гг.,

составляли 9 таксонов из отделов сине-зеленых (цианопрокариота, цианобактерии) и диатомовых водорослей (табл. 2).

Таблица 2

Относительная средняя численность и биомасса доминирующих видов фитопланктона в различных плесах Рыбинского водохранилища в 2000–2005 гг.

| Вид | Код | Численность, % | | | | | Биомасса, % | | | | |
|---|----------------|----------------|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|
| | | Во | М | Ш | Г | Рв | Во | М | Ш | Г | Рв |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> Kütz. emend. Elenk. | М | 17 | 10 | 26 | 18 | 19 | 5 | 3 | 13 | 11 | 9 |
| <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs | Н ₁ | 39 | 59 | 26 | 48 | 44 | 8 | 19 | 12 | 27 | 21 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| <i>Skeletonema subsalsum</i> (A. Cl.) Bethge | D | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| <i>Stephanodiscus binderanus</i> (Kütz.) Krieg. | | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 19 | 5 | 9 | 8 | 9 |
| <i>S. hantzschii</i> Grun. | D | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 16 | 1 | 6 | 1 | 4 |
| <i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim. | P | 0 | 3 | 1 | 0 | 1 | 4 | 19 | 10 | 8 | 10 |
| <i>A. islandica</i> (O. Müll.) Sim. | B | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 16 | 6 | 17 | 13 |
| <i>A. subarctica</i> (O. Müll.) Haworth. | B | 1 | 6 | 2 | 1 | 1 | 2 | 15 | 7 | 4 | 6 |
| <i>Asterionella formosa</i> Hass. | C | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 3 | 4 | 3 |

Примечание: обозначения те же, что в табл. 1.

Согласно кодам функциональной классификации пресноводного фитопланктона [8] и наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов (*Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aulacoseira granulata*, *A. islandica*) (табл. 2), планктонные ассоциации водорослей Рыбинского водохранилища можно отнести к Н₁, М (по численности) или Н₁, В, Р типам (по биомассе). Группу Н₁ представляют diaзотрофные виды, толерантные к низкому содержанию азота и углерода, чувствительные к перемешиванию толщи воды, низким фосфору и освещенности; группу М – виды, обитающие в хорошо перемешиваемых маленьких эвтрофных, расположенных в низких широтах озерах, толерантные к высокой инсоляции, чувствительные к перемешиванию и к низкой освещенности; группу В – виды, живущие в перемешиваемых, мезотрофных средних размеров озерах, толерантные к световому дефициту, чувствительные к повышению рН, к началу стратификации, снижению содержания кремния; Р – виды, предпочитающие эвтрофный эпилимнион, толерантные к средней освещенности и дефициту углерода, чувствительные к стратификации и снижению содержания кремния в воде. С учетом последующих дополнений и обобщений [7] можно заключить, что альгоценозы планктона Рыбинского водохранилища формируют обитатели мелководных, мезотрофных, эвтрофных и гипертрофных, малых и средних по размерам водоемов, чувствительные к началу стратификации.

Наибольшие относительные средние величины численности и биомассы *Aphanizomenon flos-aquae*

характерны для вод Главного и Моложского плесов (табл. 1, 2) при максимальной численности 87,2 млн. кл./л и биомассе 5,5 г/м³, зарегистрированных в начале августа 2003 г. в Моложском плесе. Водоросли из рода *Microcystis* как по численности, так и по биомассе преобладали в центральной части водоема (Главном плесе), а из речных плесов – в Шекснинском. Наиболее высокие относительная численность и биомасса зарегистрированы у *M. aeruginosa*. Их максимальные величины (42,9 млн. кл./л и 2,8 г/м³ соответственно) отмечены в начале августа 2003 г. в Шекснинском плесе.

Диатомовые из рода *Aulacoseira* (*A. subarctica*, *A. islandica* и *A. granulata*) наибольшего развития достигали в Моложском плесе (табл. 1, 2), где максимальные величины численности и биомассы первой (3,5 млн. кл./л и 2,3 г/м³ соответственно) отмечались в сентябре 2005 г., второй (2,4 млн. кл./л, 6,7 г/м³) – в конце июня 2001 г. и третьей (2,9 млн. кл./л, 3,2 г/м³) – в июне 2004 г.

Наиболее благоприятными для вегетации центральных диатомовых водорослей из рода *Stephanodiscus* (*S. hantzschii* и *S. binderanus*) были условия в Волжском плесе (табл. 1, 2). Максимальная численность *Stephanodiscus hantzschii* составляла 1,1 млн. кл./л, а биомасса – 4,6 г/м³ в начале июля 2004 г., *S. binderanus* – 1,9 млн. кл./л и 4,3 г/м³ соответственно в конце мая 2004 г.

Максимальная численность (2,5 млн. кл./л) и биомасса (1,3 г/м³) *Asterionella formosa* (табл. 2) зарегистрирована также в Волжском плесе в конце июня 2001 г. В этом же плесе наибольшей числен-

ности (2,0 млн. кл./л) и биомассы (0,7 г/м³) достигала *Skeletonema subsalsum* (табл. 2) в начале сентября 2002 г.

Последовательная сезонная смена доминирующих комплексов фитопланктона Рыбинского водохранилища в 2000–2005 гг. не претерпела существенных изменений по сравнению с предыдущими годами исследований [1, 2]. Она определялась, прежде всего, диатомовыми водорослями, к которым летом и осенью присоединялись сине-зеленые (табл. 3). Весной (май-июнь) диатомеи составляли > 50 % от средней общей численности и > 70 % биомассы фитопланктона.

Согласно морфофункциональной классификации [7, 8] эти комплексы относились к группам В и С (табл. 4), которые объединяют виды, обитающие в хорошо перемешиваемых мезотрофных и эвтрофных водах. Тип С составляют виды, предпочитающие перемешиваемые, мелкие озера, толерантные к световому дефициту, чувствительные к истощению концентрации кремния в воде. В Волжском плесе преобладали диатомеи из группы D, представители которой обитают в основном в мелководных, хорошо перемешиваемых водоемах, толерантны к перемешиванию и чувствительны к снижению питательных веществ.

Таблица 3

Сезонная сукцессия фитопланктона в различных плесах Рыбинского водохранилища в 2000–2005 гг.

| Плеса | Весна | Лето | Осень |
|-------|--|--|---|
| Во | <i>Stephanodiscus binderanus</i> , <i>S. hantzschii</i> | <i>Skeletonema subsalsum</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> |
| М | <i>Aulacoseira subarctica</i> | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Aulacoseira subarctica</i> , <i>A. granulata</i> | <i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> |
| Ш | <i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Asterionella formosa</i> | <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> | <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Stephanodiscus binderanus</i> |
| Г | <i>Asterionella formosa</i> , <i>Aulacoseira islandica</i> | <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> |

Примечание: обозначения те же, что в табл. 1.

Сине-зеленые водоросли входили в состав доминирующего комплекса, начиная со второй половины июня. Их активная вегетация обычно начиналась в конце июля – начале августа. В период максимального развития они составляли > 90 % от общей численности и создавали до 80 % общей биомассы фитопланктона. В основном это были виды из групп

Н₁ и М, характерные для мелководных эвтрофных водоемов. Диатомовые из группы Р входили в число ведущих видов совместно с сине-зелеными водорослями. При наличии благоприятных условий водоросли из групп Н₁, М, Р и В продолжали вегетацию и в осенний период.

Таблица 4

Сезонное изменение различных типов морфофункциональных групп фитопланктона в различных плесах Рыбинского водохранилища

| Плеса | Весна | Лето | Осень |
|-------|-------|----------------------|------------------------|
| Во | D | D, M, H ₁ | H ₁ , M, P, |

| | | | |
|----|---------|-----------------------------|--------------------------|
| М | В | Р, Н ₁ , В | Н ₁ , В, М |
| Ш | В, С, | Р, Н ₁ , М | Н ₁ , М, Р |
| Г | В, С, | Р, Н ₁ , М | Н ₁ , В, М |
| Рв | В, С, D | В, D, Н ₁ , М, Р | В, Н ₁ , М, Р |

Примечание: обозначения те же, что в табл. 1.

Таким образом, согласно морфофункциональной классификации пресноводных планктонных водорослей, фитопланктон Рыбинского водохранилища в 2000–2005 гг. представлен ассоциациями В, С, D, Н₁, М, Р, среди которых преобладают четыре типа: Н₁, М, В, Р. Ход сезонной сукцессии фитопланктона определяется последовательной сменой комплексов В, С, D → В, D,

Н₁, М, Р → В, Н₁, М, Р, которые в период открытой воды формируют группы видов, свойственных мелководным, хорошо перемешиваемым водоемам мезотрофно-эвтрофного типа, а в летне-осенний период – мезотрофным-гипертрофным водоемам с низким содержанием азота и чувствительным к стратификации.

Библиографический список

1. Корнева, Л. Г. Сукцессия фитопланктона [Текст] / Л. Г. Корнева // Экология фитопланктона Рыбинского водохранилища. Фитопланктон Волги. – Тольятти : Самарский науч. центр РАН, 1999. – С. 89–148.
2. Корнева, Л. Г. Сообщества фитопланктона водохранилищ Верхней Волги [Текст] / Л. Г. Корнева [и др.] // Экологические проблемы Верхней Волги. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2001. – С. 87–93.
3. Кузьмин, Г. В. Фитопланктон. Видовой состав и обилие [Текст] / Г. В. Кузьмин // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М. : Наука, 1975. – С. 73–87.
4. Соловьева, В. В. Пространственное распределение фитопланктона в Рыбинском и Горьковском водохранилищах [Текст] / В. В. Соловьева, Л. Г. Корнева // Эколого-биологические проблемы вод и биоресурсов: пути решения : сборник научных трудов Всеросс. конф. – Ульяновск : Многопрофильный деловой центр, 2007. – С. 114–121.
5. Фортунатов, М. А. Цветность и прозрачность вод Рыбинского водохранилища как показатель его режима [Текст] / М. А. Фортунатов // Тр. Ин-та биол. водохранилищ. – М.-Л. : Академия наук СССР, 1959. – Вып. 2(5). – С. 246–357.
6. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie. Grundzuge der Vegetationskunde [Text] / J. Braun-Blanquet – Wien-New York: Springer, 1964. – 865 s.
7. Padišák, J. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates [Text] / J. Padišák, L. O. Crossetti, L. Naselli-Flores // Hydrobiologia. – 2009. – Vol. 621. – P. 1–19.
8. Reynolds, C. S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton [Text] / C. S. Reynolds, V. Huszar, C. Kruk, L. Naselli-Flores & S. Melo, // Journal of Plankton Research. – 2002. – Vol. 24, № 5. – P. 417–428.