**РАЗДЕЛ «ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ»**

УДК 574

**Продукционная и трофическая роль размерных групп фитопланктона: вклад в первичную продуктивность и формирование качества воды**

*А.П. Садчиков, д.б.н., С.А. Остроумов, д.б.н., С.В. Котелевцев, д.б.н.*

В водоемах разной трофности определена продукция групп фитопланктона разного размера. В мезотрофном Можайском водохранилище, эвтрофном и гипертрофном прудах кормовые для зоопланктона водоросли размером до 50 мкм составляли в среднем 40, 60 и 90% общей биомассы фитопланктона. Фракция водорослей до 20 мкм синтезировала до 20-65% органического вещества, несмотря на маленькую биомассу этой фракции. Биомасса этой фракции (фитопланктон менее 20 мкм) в водохранилище и эвтрофном пруду составляла всего 2-4% от общей биомассы фитопланктона.

*Ключевые слова*: продукция фитопланктона, радиоуглеродный метод, наннопланктон, сетной фитопланктон, зоопланктон.

**Введение**

В пресных водоемах основным потребителем фитопланктона является фильтрующий зоопланктон. Он, в основном, выедает водоросли размером до 30-50 мкм (наннопланктон). Эта размерная фракция испытывает на себе наибольшее трофическое воздействие потребителей. Наннопланктон обладает высокой скоростью роста, и относительно быстро восстанавливают свою численность. Однако, несмотря на это, его биомасса в водоемах чаще всего невелика [1-4].

В планктоне в основном доминируют колониальные и крупные виды водорослей (так называемый сетной фитопланктон). Эти водоросли слабо потребляются зоопланктоном, что является одной из причин их доминирования в водоемах. Кроме того, сетной фитопланктон отрицательно воздействует на фильтрационную активность ракообразных: забивает фильтрационный аппарат и мешает потреблению корма. Ракообразным приходится постоянно очищать фильтрационную камеру, что требует дополнительных затрат энергии [5]. Это приводит к снижению плодовитости, численности и, в конечном счете, к перестройке структуры сообщества [6, 7]. Крупные водоросли после отмирания формируют детрит, который медленно оседает в толще воды [5, 8, 9].

Также необходимо отметить, крупные и колониальные водоросли получают дополнительное минеральное питание за счет устранения мелких конкурентоспособных видов (наннопланктона). Однако, несмотря на доминирование в водоемах продукционная и трофическая значимость сетного фитопланктона существенно ниже, чем наннопланктона [7, 10-12].

Исходя из этих предпосылок и строилась наша работа по изучению продукционных процессов в водоемах. В данной статье приводятся результаты исследований по продуцированию органического вещества разными размерными группами фитопланктона и их взаимоотношению с зоопланктоном.

Исследования проводили в Можайском водохранилище и нескольких прудах разной трофности (недалеко от биостанции МГУ им. М.В.Ломоносова «Ильинское»). Продукцию размерных групп фитопланктона определяли радиоуглеродным методом. Пробы водорослей после экспозиции in situ с NaH14CO3 делили на фракции (до 20 мкм, 20-50 мкм и более 50 мкм) фильтрацией через сита соответствующего размера. Затем каждую фракцию фильтровали через мембранные фильтры (размер пор 1,5 мкм) и анализировали радиоактивность на сцинтилляционном счетчике «Rackbeta 1217» (фирма LKB) [13, 14]. Параллельно в водоемах регистрировали видовой состав и биомассу тех же размерных групп фитопланктона [10]. Фотосинтетическую активность сетного фитопланктона (более 50 мкм) рассчитывали по разности между радиоактивностью фитопланктонного сообщества и наннопланктона (размер до 50 мкм) [13].

Полученная информация о группах фитопланктона различных размеров в водоемах разного уровня трофности собрана в *табл. 1*.

Таблица 1

***Биомасса и продукция размерных групп фитопланктона в водоемах разной трофности***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Водоем* | *Биомасса размерных групп фитопланктона, % от общей биомассы всего фитопланктона* | *Продукция фитопланктона размером до 20 мкм, % от продукции всего фитопланктона* |
| *до 20 мкм* | *до 50 мкм* |
| Мезотрофный | 2 | 42 | 22 |
| Эвтрофный | 4 | 60 | 43 |
| Гипертрофный | 70 | 93 | 63 |

В исследованных водоемах «кормовые» для зоопланктона водоросли размером до 50 мкм составляли в среднем за сезон 42-93% общей массы фитопланктона и распределялись следующим образом: в мезотрофном Можайском водохранилище – 42%, в эвтрофном пруду – 60%, в гипертрофном водоеме – 93%. В последний поступали стоки животноводческой фермы, в результате чего наблюдалось интенсивное развитие мелких зеленых водорослей.

Доля водорослей размером до 20 мкм, которые, как показали исследования, являются физиологически активной единицей сообщества, составляла небольшую часть общей массы фитопланктона: в водохранилище – 2%, в эвтрофном пруду – 4%. Только в гипертрофном водоеме они доминировали – около 70% биомассы фитопланктона [9, 12].

Несмотря на, казалось бы, низкие биомассы, мелкие размерные фракции водорослей способны продуцировать относительно большое количество органического вещества. Так, в озере Глубокое (Московская обл.) удельная продукция водорослей размером до 10 мкм превышала аналогичные показатели более крупных водорослей в 13 раз. Водоросли размером до 10 мкм в середине вегетационного сезона удваивали свою численность в течение полутора суток [10].

Такая же тенденция прослеживалась в Можайском водохранилище и исследованных прудах. Так, в водохранилище на долю фракции размером до 20 мкм приходилось 22% продукции фитопланктонного сообщества, в эвтрофном и гипертрофном прудах – соответственно 43% и 63%.

Водоросли размером до 20 мкм обладали более высокой по сравнению с сетным фитопланктоном удельной продукцией: максимальные ее значения различались в 80-120 раз. Мелкие водоросли в середине вегетационного сезона удваивали свою численность в течение двух суток.

Преимущества мелких клеток водорослей обеспечиваются высокой удельной поверхностью, что позволяет им лучше потреблять биогенные элементы, растворенное органическое вещество и др. Из-за этого у них более высокие продукционные показатели по сравнению с сетным фитопланктоном [15-18]. Однако из-за выедания ракообразными биомасса наннопланктона находится на относительно низком уровне.

Крупные и колониальные водоросли продуцируют значительно слабее, чем наннопланктон, в то же время они в меньшей степени подвержены трофическому прессу [1, 5] Их роль в значительной мере сводится к формированию в водоемах детрита, которых играет большую роль в водных экосистемах [19-21].

Кроме того, метаболиты некоторых цианобактерий отрицательно влияют на физиологические процессы и потребление корма зоопланктоном. В природных водоемах существует прямая зависимость между интенсивностью потребления водорослей и их продукцией [18]. Чем больше зоопланктон выедает водоросли, тем интенсивнее он выделяет в среду биогенные элементы.

Сказанное в статье имеет прямое отношение к вопросам качества воды. Параметры, характеризующие качество воды, включают в себя такие параметры, как численность фитопланктона, содержание хлорофилла в воде, содержание растворенного и взвешенного органического вещества, содержание растворенного кислорода (меняется при фотосинтезе водорослей фитопланктона), прозрачность воды.

Качество воды тесно связано с уровнем трофности водоема. Все эти параметры в значительной мере зависят от состояния, численности, состава и функциональной активности фитопланктона и его размерных групп. Многие вопросы качества воды были проанализированы в публикациях [ 22 - 31]. Изложенное выше в этой статье дополняет наш предыдущий анализ проблем качества воды и роли планктона в формировании качества воды.

**Выводы**

Изложенное в статье заставляет полагать, что продукционная и трофическая роль размерных групп планктона сложным образом зависит от их биомассы. Есть основания предполагать, что те группы планктона, которые преобладают в суммарной биомассе планктона, не обязательно являются преобладающими по своей продукционной и трофической роли в водной экосистеме. Связь между вкладом отдельных групп планктона в биомассу и продукционной ролью этих групп, по-видимому, неоднозначна и требует дальнейших исследований.

Существенным выводом из данной работы является то, что доказана необходимость большого внимания к тому, чтобы тщательно изучать и характеризовать все размерные группы планктона. Недопустимо игнорировать или считать малозначительными те группы планктона, которые не вносят преобладающего вклада в суммарную биомассу планктона в данном водоеме.

Анализ, проведенный в этой статье, дополнительно подчеркивает возможность того, что мелкие водоросли с относительно небольшим вкладом в суммарную биомассу планктона может играть существенную роль в продукции органического вещества в водной экосистеме. Результаты этой статьи необходимо принимать во внимание при анализе вопросов эвтрофирования водных систем и при рассмотрении фитопланктона как пищевого ресурса в трофических цепях, обеспечивающих питание видов рыб, важных для рыбного хозяйства [22], а также при анализе вопросов качества воды [22-31].

**Литература**

1. Гутельмахер Б.Л., Садчиков А.П., Филиппова Т.Г. Питание зоопланктона // Итоги науки и техники. ВИНИТИ. Сер. Общая экология. Биоценология. Гидробиология, 1988. Т. 6. – 156 с.
2. Садчиков А.П., Котелевцев С.В., Остроумов С.А. Экологическая значимость размерной структуры фитопланктона и ее влияние на продуктивность водоемов // «Рыбное хозяйство», 2016. № 1. – С. 14-17.
3. Садчиков А.П. Развитие зоопланктона в зависимости от кормовых условий природных водоемов // Биозащита и биобезопасность, 2014. № 4. – С. 24-27.
4. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Подавление цветения водорослей фильтраторами зоопланктона в небольших водоемах // Водные ресурсы, 2018. Т. 45. № 2. – С. 1-17.
5. Садчиков А.П. Значение и роль зоопланктона в трансформации органического вещества. 1.Трофические взаимоотношения в планктонном сообществе (обзор) // Биол. науки, 1993. № 3-4. – С. 5-23.
6. Гиляров А.М. Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных. – М.: Наука, 1987. – 191 с.
7. Садчиков А.П. Развитие зоопланктона в зависимости от кормовых условий природных водоемов // Биозащита и биобезопасность, 2014. № 4. – С. 24-27.
8. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Экологическое и трофическое значение детрита в водоемах // Рыбное хозяйство, 2017. № 2. – С. 65-69.
9. Садчиков А.П., Котелевцев С.В., Остроумов С.А. Изучение альгогенного происхождения планктонного детрита // Black Sea Scientific J. of Academic Research, 2017. V. 19. № 4. – Pp. 31-36.
10. Садчиков А.П. Продуцирование и трансформация органического вещества размерными группами фито-и бактериопланктона (на примере водоемов Подмосковья): автореф. дисс... д.б.н. – М.: МГУ, 1997. – 53 с.
11. Садчиков А.П. Гидробиология: планктон (трофические и метаболические взаимоотношения). – М.: Изд-во «ПКЦ Альтекс», 2013. – 230 с.
12. Садчиков А.П., Котелевцев С.В., Остроумов С.А. Биохимическая экология регенерации растворенного фосфора зоопланктоном // Black Sea Scientific Journal of Academic Research, 2016. V. 28. № 2. – Pp. 33-39.
13. Садчиков А.П., Макаров А.А., Максимов В.Н. Продукция размерных групп фитопланктона в трех водоемах разной трофности // Гидробиол. журн., 1995. Т. 31. № 6. – С. 44-53.
14. Садчиков А.П., Френкель О.А. Прижизненное выделение растворенного органического вещества фитопланктоном // Гидробиол. журн., 1990. Т. 26. № 1. – С. 84-87.
15. Котелевцев С.В., Садчиков А.П., Остроумов С.А. Развитие экологической теории и исследования водных экосистем // Успехи наук о жизни, 2014. № 9. – С. 107-110.
16. Котелевцев С.В., Остроумов С.А., Садчиков А.П. О некоторых аспектах влияния планктонных организмов на химизм гидросферы // Экологическая химия, 2016. № 25(3). – С. 163-171.
17. Садчиков А.П., Котелевцев С.В., Орлов С.Н., Остроумов С.А. Биохимические и биофизические подходы к анализу факторов, влияющих на качество воды. Исследования ферментативной активности. – Экология промышленного производства. – 2017, № 4, с. 44-48.
18. Arcifa M.S., Northcote T.G., Frochlich O. Fish-zooplankton interaction and effects on water quality of a tropical Brazilian reservoir // Hydrobiologia, 1986. № 1. – Pp. 127-133.
19. Садчиков А.П., Котелевцев С.В., Остроумов С.А. Изучение количества детритных частиц и размерной структуры детрита в пресных водоемах // The Causasus, 2017. V. 18. № 3. – Pp. 50-53.
20. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Некоторые вопросы изучения детрита в водных экосистемах // Экологическая химия, 2017. Т. 26. № 5. – С. 262-270.
21. Садчиков А.П., Котелевцев С.В., Остроумов С.А. Количественные исследования детрита в водной среде пресноводных экосистем в связи с вопросами качества воды // Вода Magazine, 2017. № 7 (19). – С. 8-11.
22. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Issues of the Study of Detritus in Aquatic Systems // Russian J. of General Chemistry, 2017. V. 87. № 13. – С. 3224-3229. https://www.researchgate.net/publication/322676675
23. Ostroumov S.A., New Aspects of the Role of Organisms and Detritus in the Detoxification System of the Biosphere // Russian J. of General Chemistry, 2017. V. 87. № 13. – Pp. 3190-3198. https://www.researchgate.net/publication/322861119
24. Садчиков А. П., Остроумов С. А., Герасимова Т. Н. Роль зоопланктона в повышении качества вод // Рыбное хозяйство, 2018. № 2. – С. 62-65. https://www.researchgate.net/publication/325424280
25. Остроумов С.А. Качество воды - новые критерии // Наука в России, 2014. № 5. – С. 37-43. https://www.researchgate.net/publication/267027418
26. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Зоопланктон и продукционные показатели водорослей: новые аспекты воздействия на качество воды // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, 2018. № 6. – С. 20-24.
27. Тропин И.В., Остроумов С.А. Аккумуляция двух металлов в биомассе водных макрофитов // Вода Magazine, 2018. № 4. – С. 24-25.
28. Поклонов В.А., Шестакова Т.В., Остроумов С.А. Изучение фитотоксического воздействия смеси тяжелых металлов на макрофиты // Экологическая химия, 2018. Т. 27. № 3. – С. 117-123.
29. Садчиков А.П., Котелевцев С.В., Орлов С.Н., Остроумов С.А. Качество воды и элементный состав органического вещества при его оседании в водоемах // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2018. № 1. – С. 26-29.
30. Остроумов С.А., Криксунов Е.А. Экологические знания как основа для решения задач сохранения биосферы // Экологическая химия, 2018. Т. 27. № 3. – С. 171-174.
31. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Разработка научных основ управления качеством вод в водоемах. Биоманипулирование и роль планктона // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2018. № 2. – С. 22-25.

*Сведения об авторах:*

Садчиков Анатолий Павлович, д.б.н., проф. биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, корп. 12; e-mail: ar55@yandex.ru.

Остроумов Сергей Андреевич, д.б.н., в.н.с. биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова; e-mail: ar55@yandex.ru.

Котелевцев Сергей Васильевич, д.б.н., в.н.с. биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова; e-mail: ar55@yandex.ru.