

Потенциальное влияние зарослей макрофитов на численность акинет синезеленых водорослей в литорали водоема

Е. С. КРАВЧУК, Т. В. АНИСИМОВА*

*Институт биофизики СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок
E-mail:kravcuk@ibp.krasn.ru*

**Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79*

АННОТАЦИЯ

Изучено распределение покоящихся стадий синезеленых водорослей (акинет) в донных отложениях литорали небольшого сибирского водохранилища. Показана неравномерность (мозаичность) распределения акинет в донных отложениях литорали и проанализированы потенциальные механизмы его формирования.

Ключевые слова: “цветение” воды, синезеленые водоросли, покоящиеся стадии, акинеты, донные отложения.

“Цветение” континентальных водоемов синезелеными водорослями приводит к резкому ухудшению качества воды, наносит вред рыбному и водному хозяйству, затрудняет рекреационное использование водоемов и представляет угрозу для здоровья человека и животных. Многие виды синезеленых водорослей, вызывающие “цветение” воды, значительную часть жизненного цикла находятся в донных отложениях в виде покоящихся стадий (акинет). Многие авторы полагают, что миграция синезеленых водорослей из донных отложений в толщу воды может быть ключевым фактором для развития “цветения” [1–3]. Считается, что прорастание акинет и переход в планктонную стадию происходит в основном в литорали водоема, что связано с ее более высокой температурой, освещенностью и перемешиванием по сравнению с пелагической частью [4–6]. Таким образом, места скоп-

ления акинет в донных отложениях литорали являются потенциальными местами инициации “цветения” водоема. Очевидно, что в результате влияния различных факторов в донных отложениях литорали наблюдается неравномерное, “пятнистое” распределение акинет. Представляется важным изучить пространственное распределение покоящихся стадий в донных отложениях литорали водоема, а также определить возможные факторы, влияющие на это распределение.

Данная работа посвящена исследованию пространственного распределения акинет синезеленых водорослей в донных отложениях литоральной зоны малого сибирского водохранилища.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работы выполнены на небольшом водохранилище Бугач, расположенном на окраине

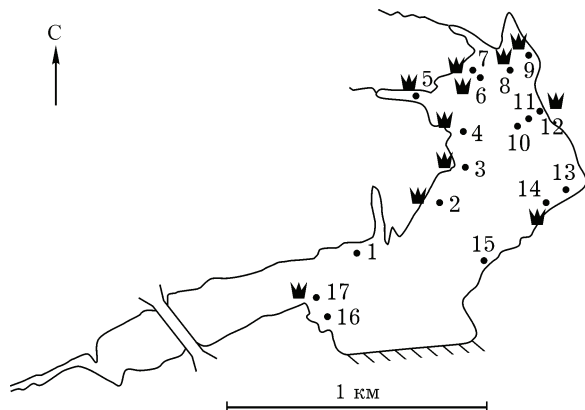


Рис. 1. Карта-схема водохранилища Бугач. Значками обозначены станции, расположенные в зарослях макрофитов

г. Красноярск. Водоем ($56^{\circ}03'$ с. ш., $92^{\circ}43'$ в. д.) находится в степной местности, частично занятой пастбищами и полями, и образовано на малой р. Бугач (вторичный приток р. Енисей). Площадь поверхности около 32 га, средняя глубина 2 м, максимальная – 7 м, используется для купания и рыболовства. Детальная экологическая характеристика водохранилища дана в работах [7–9].

Пробы донных отложений отбирали в литоральной части водоема (глубина около 0,5 м) в мае, июне и октябре 2002 г., а также в июле и августе 2011 г. (рис. 1). На каждой станции отобрано от одной до трех проб. Станции 2–9, 12, 14 и 17 расположены в зарослях макрофитов.

Керны донных отложений отбирали трубчатым дночерпателем. Из верхнего сантимет-

рового слоя каждого керна диаметром 5 см металлической трубкой диаметром 0,7 см отбирали 3 пробы, которые смешивали в 20 мл дистиллированной воды.

Подсчет акинет в полученной суспензии проводили в камере Фукса – Розенталя. В 2002 г. клетки учитывали под световым микроскопом, просматривая от трех до десяти счетных камер. В 2011 г. для обработки проб применяли люминесцентную микроскопию и для каждой пробы просчитывали количество камер, необходимое для обнаружения 50 акинет (от 7 до 46 камер). Численность акинет синезеленых водорослей определяли по формуле для расчета численности фитоперифитона [10].

Статистический анализ данных проводили по общепринятым методикам [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Численность акинет в донных отложениях литорали варьировала от 0 до 70,9 тыс. кл./см² (рис. 2). В целом численность акинет в пробах 2011 г. оказалась выше, чем в 2002 г. (см. рис. 2, станции 5 и 14). Это может объясняться, с одной стороны, применением разных методов обработки проб в 2002 и 2011 гг. (люминесцентная микроскопия позволяет более точно оценить численность акинет в донных отложениях), а с другой – сезонными различиями.

Численность акинет в донных отложениях в целом существенно выше на станциях, расположенных в зарослях макрофитов, по

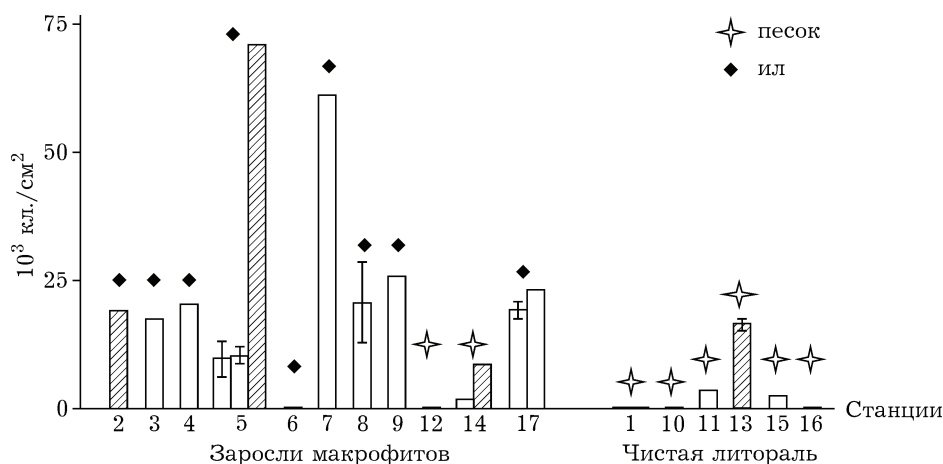


Рис. 2. Численность акинет в литорали водохранилища Бугач в 2002 г. (белые столбики) и 2011 г. (заштрихованные)

сравнению с таковыми в чистой литорали (см. рис. 2). Принято считать, что рост макрофитов препятствует развитию “цветения” воды. Известно, что в водоемах, заросших высшей водной растительностью, “цветения” синезеленых водорослей, как правило, не происходит [12]. Это объясняется в первую очередь конкуренцией за биогенные элементы и микроэлементы, которые макрофиты поглощают в большом количестве [13]. Макрофиты в процессе фотосинтеза насыщают воду кислородом, а также затеняют нижележащие слои воды, что создает неблагоприятные условия для жизнедеятельности синезеленых. Немаловажную роль играют метаболиты высших водных растений, проявляющие фитонцидные свойства и угнетающие развитие водорослей [14–19]. Тем не менее влияние макрофитов на развитие “цветения” неоднозначно. В конце вегетационного периода при разложении их биомассы в водоеме усиливаются анаэробные процессы [20] и происходит обогащение воды органическими и биогенными веществами, что оказывает стимулирующее действие на развитие “цветения” [12].

Наши данные позволяют предположить, что макрофиты могут также играть положительную роль в развитии “цветения”, способствуя накоплению акинет в донных отложениях литорали водоема. Во-первых, макрофиты могут способствовать скоплению биомассы водорослей в толще воды, препятствуя их выносу в глубокую часть водоема. В результате в зарослях макрофитов может сформироваться большое количество акинет, которые затем оседают на дно. Во-вторых, многие макрофиты обладают развитой корневой системой, которая уплотняет донные отложения, препятствуя их перемещиванию и опусканию акинет в более глубокие слои.

В то же время в донных отложениях некоторых станций, расположенных в зарослях макрофитов (6, 12 и 14), наблюдалась относительно низкая численность акинет (см. рис. 2). Для станций 12 и 14 это может объясняться типом донных отложений. На большинстве станций, расположенных в зарослях макрофитов, донные отложения представлены илами, в то время как на станциях 12 и 14 – песком. Предполагается, что в более плотных и малоподвижных грунтах осевшие

в конце вегетационного сезона акинеты остаются на поверхности, тогда как в более легких и подвижных грунтах акинеты могут опускаться в более глубокие слои донных отложений. Показано, например, что в Днепровских водохранилищах максимальное количество синезеленых водорослей находилось на жидких илах в 2–3-сантиметровом слое, а в песчаных грунтах, обладающих большой фильтрационной способностью и подвижностью, они концентрировались на глубине 12–18 см [21]. Очевидно, что опустившиеся в более глубокие слои донных отложений акинеты следующей весной уже не смогут прорасти и послужить инокулятом для планктонной популяции, что снижает вероятность развития “цветения”. Следует отметить, что на всех точках отбора проб в чистой литорали донные отложения были песчаными.

В пробе, отобранной на станции 6, не обнаружено акинет синезеленых водорослей. В то же время на станции 7, расположенной в 20 м от станции 6, численность акинет в 2002 г. была самой высокой, что свидетельствует о мозаичности распределения акинет в донных отложениях литорали водоема.

Отметим, что численность акинет на станции 13, расположенной в чистой литорали, была достоверно выше ($t = 6,31$, $p < 0,05$, $n = 4$), чем на расположенной рядом с ней станции 14, которая находится в зарослях рдестов (см. рис. 1, 2). В районе исследований преобладают северо-западные ветра, поэтому юго-восточный берег водоема, на котором расположены эти станции, является наветренным и в период “цветения” воды синезелеными водорослями возле этого берега собирается пленка нагона. Вероятнее всего, на участке “чистой” литорали пленку синезеленых водорослей прибывает к самому берегу, где они формируют акинеты, оседающие в донные отложения. В то же время на заросшем участке рдест препятствует заносу водорослей в мелководную часть и накоплению акинет в прибрежной зоне. Можно также предположить, что на подветренном берегу наблюдается обратная картина: с участков чистой (незаросшей) литорали пленку синезеленых выносит в глубокую часть водоема, а макрофиты препятствуют выносу водорослей из мелководья и

способствуют накоплению акинет на заросших участках. Следовательно, в зависимости от гидродинамических условий макрофиты могут играть не только положительную, но и отрицательную роль в накоплении акинет в литорали водоема.

Очевидно, что морфометрия водоема также играет немаловажную роль в распределении акинет в литорали, поскольку наличие мелководных слабоперемешиваемых прогреваемых участков способствует росту синезеленых водорослей и накоплению акинет. Действительно, максимальная численность акинет в 2002 г. была на станции 7, а в 2011 – на станции 5 (см. рис. 2). Обе эти станции расположены на северо-западном берегу водоема в заливе, заросшем макрофитами и слабо подверженном влиянию ветра и течений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для прогнозирования потенциальных мест инициации “цветения” водоема необходимо знание механизмов распределения покоящихся стадий синезеленых водорослей в донных отложениях литорали. Нами показано, что в распределении акинет синезеленых водорослей в донных отложениях литорали водоема наблюдается значительная неравномерность. Вероятно, механизмы формирования этого распределения включают целый комплекс физических факторов, один из основных – наличие или отсутствие в литорали зарослей макрофитов. До сих пор при анализе причин “цветения” воды синезелеными водорослями роль высших растений в водоеме ограничивалась подавлением роста планктонной популяции водорослей за счет конкуренции за биогены, выделения фитонцидов, насыщения воды кислородом и ухудшения световых условий. Однако результаты наших исследований позволяют предположить наличие также механического влияния макрофитов на распределение биомассы водорослей по площади литорали и, следовательно, на распределение акинет в донных отложениях. Кроме того, на распределение покоящихся стадий существенное влияние оказывают такие факторы, как тип донных отложений, гидрология и морфометрия водоема. Механиз-

мы влияния вышеперечисленных факторов на распределение акинет требуют дальнейшего изучения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-05-00481.

ЛИТЕРАТУРА

1. Paerl H. W. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters // *Limnol. Oceanogr.* 1988. Vol. 33, N 4 (p. 2). P. 823–847.
2. Брагинский Л. П., Сиренко Л. А. Вегетационный цикл *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. // *Альгология.* 1997. Т. 7, № 2. С. 153–165.
3. Hellweger F. L., Kravchuk E. S., Novotny V., Gladyshev M. I. Agent-based modeling of the complex life cycle of a cyanobacterium (*Anabaena*) in a shallow reservoir // *Limnol. Oceanogr.* 2008. Vol. 53. P. 1227–1241.
4. Head R. M., Jones R. I., Bailey-Watts A. E. An assessment of the influence of recruitment from the sediment on the development of planktonic populations of cyanobacteria in a temperate mesotrophic lake // *Freshwater Biology.* 1999. Vol. 41. P. 759–769.
5. Karlsson-Elfgren I., Brunberg A.-K. The importance of shallow sediments in the recruitment of *Anabaena* and *Aphanizomenon* (Cyanophyceae) // *J. of Phycology.* 2004. Vol. 40. P. 831–836.
6. Rengefors K., Gustafsson S., Ståhl-Delbanco A. Factors regulating the recruitment of cyanobacterial and eukaryotic phytoplankton from littoral and profundal sediments // *Aquatic Microbial Ecology.* 2004. Vol. 36. P. 213–226.
7. Dubovskaya O. P., Gladyshev M. I., Gubanov V. G., Makhutova O. N. Study of non-consumptive mortality of Crustacean zooplankton in a Siberian reservoir using staining for live/dead sorting and sediment traps // *Hydrobiologia.* 2003. Vol. 504. P. 223–227.
8. Kalachova G. S., Kolmakova A. A., Gladyshev M. I., Kravchuk E. S., Ivanova E. A. Seasonal dynamics of amino acids in two small Siberian reservoirs dominated by prokaryotic and eukaryotic phytoplankton // *Aquatic Ecology.* 2004. Vol. 38. P. 3–15.
9. Gladyshev M. I., Sushchik N. N., Makhutova O. N., Dubovskaya O. P., Kravchuk E. S., Kalachova G. S., Khromechek E. B. Correlations between fatty acid composition of seston and zooplankton and effects of environmental parameters in a eutrophic Siberian reservoir // *Limnologia.* 2010. Vol. 40. P. 343–357.
10. С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. Водоросли. Справочник. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
11. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии. М.: МГУ, 1980.
12. Сиренко Л. А., Гавриленко М. Я. “Цветение” воды и евтрофирование: методы его ограничения и использование сестона. Киев: Наук. думка, 1978. 232 с.
13. Золотухин И. А., Никулина С. Н., Федосеева Л. А. Снижение концентрации микроэлементов в водной среде под воздействием корневых систем // *Экология.* 1995. № 3. С. 248–249.
14. Неграм А. К., Бондаренко А. С. Альгицидная активность водных и прибрежных растений в отношении

- культуры синезеленой водоросли *Anabaena flos-aquae* // Экология и физиология синезеленых водорослей. М.; Л.: Наука, 1965. С. 227–230.
15. Гусева К. А., Гончарова С. П. О влиянии высшей водной растительности на развитие планктонных синезеленых водорослей // Там же. С. 230–234.
 16. Nakai S., Inoue Y., Masaaki H., Murakami A. Myriophyllum spicatum – released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *Microcystis aeruginosa* // Water Research. 2000. Vol. 34. P. 3026–3032.
 17. Nakai S., Yamada S., Hosomi M. Anti-cyanobacterial fatty acids released from *Myriophyllum spicatum* // Hydrobiologia. 2005. Vol. 543. P. 71–78.
 18. Сакевич А. И. Экзометаболиты пресноводных водорослей. Киев: Наук. думка, 1985. 200 с.
 19. Новиков М. А., Харламова М. Н. Трансбиотические факторы в водной среде // Журн. общ. биологии. 2000. Т. 61, № 1. С. 22–46.
 20. Герасимова Т. Н., Погожев П. И. Взаимодействие трофических звеньев и влияние неукореняющихся гидрофитов на кислородный режим эвтрофных водоемов // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 6. С. 724–729.
 21. Владимирова К. С. Взаимосвязь между фитопланктоном и фитомикробентосом водохранилищ // “Цветение” воды. Киев: Наукова думка, 1968. С. 67–81.

Potential Effect of Macrophyte Beds on the Number of Akinetes of the Blue-Green Algae in the Littoral of Water Body

E. S. KRAVCHUK, T. V. ANISIMOVA*

*Institute of Biophysics SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok
E-mail:kravcuk@ibp.krasn.ru*

**Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodniy ave., 79*

The distribution of resting stages of the blue-green algae (akinetes) in the bottom sediments of the littoral of a small Siberian water reservoir is studied. The irregularity (mosaicness) of the distribution of akinetes in the bottom sediments of the littoral is demonstrated, and the possible mechanisms of its formation are analyzed.

Ключевые слова: water bloom, blue-green algae, resting stages, akinetes, bottom sediments.