

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ ОЗЕР НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Ф.Б. Шкундина, Г.А. Гуламанова

Башкирский государственный университет, Уфа, e-mail: shkundinafb@mail.ru

Основным направлением изменения озер на территории Республики Башкортостан является усиление темпов антропогенного эвтрофирования, что связано с интенсификацией сельского хозяйства, а также с развитием рекреационного использования, в первую очередь, на территориях национальных и природных парков.

По происхождению озера Республики Башкортостан делятся на три группы: остаточнопалеодолинные озера (Аслыкуль, Кандрыкуль, Яктыкуль, Мулдаккуль и др.); пойменные (старичные) озера (Шамсутдин, Сирямь-Туба, Культубак, Кулеш, Ширень, Исякуль, Узить, Татыш, Упканькуль) и мелкие карстовые водоемы.

По степени минерализации вод они разделяются на олигогалинные (слабосоленоватые — Кандрыкуль, Аслыкуль) и пресноводные. Грунты в этих озерах преобразовались в сапропель, который может использоваться или уже используется в лечебных целях.

Для оценки экологического состояния озер использовались результаты изучения фитопланктона. Комплексные исследования фитопланктона разнотипных озер Республики Башкортостан проводились в июле – августе 2005–2007 гг. в 5 различных по происхождению водоемах (Татыш, Шамсутдин, Кандрыкуль, Аслыкуль, Яктыкуль). Был рассчитан трофический индекс Карлсона (TSI) по прозрачности воды. В целом, по индексу TSI трофность исследованных озер уменьшалась в ряду Татыш (эвтрофное — 58,3) → Шамсутдин (эвтрофное — 54,4) → Яктыкуль (в прибрежной части мезотрофное — 45,9, в глубоководной части олиготрофное — 29,6) → Кандрыкуль (мезотрофное — 44,5) → Аслыкуль (олиготрофное — 36,9) [2].

Был проведен корреляционный анализ биомассы фитопланктона (как биологического показателя степени эвтрофирования) с прозрачностью воды (как физического показателя). Результаты расчета показали слабую отрицательную корреляцию биомассы фитопланктона с прозрачностью воды ($r = -0,32$).

Согласно шкале трофности Р. Волленвайдера исследованные озера расположились по убыванию: Татыш (пойменное, высокоэвтрофное — $13,36 \text{ г/м}^3$) → Шамсутдин (пойменное, эвтрофное — $8,78 \text{ г/м}^3$) → Кандрыкуль (карстовое, мезотрофное — $2,75 \text{ г/м}^3$) → Аслыкуль (карстовое, мезотрофное — $1,75 \text{ г/м}^3$) → Яктыкуль (тектоническое, мезотрофное — $1,24 \text{ г/м}^3$).

Была использована также шкала эколого-санитарного состояния исследованных озер. Согласно классификации качества поверхностных вод с экологических позиций в странах Евросоюза и СНГ [1], по показателям биомассы фитопланктона оз. Татыш соответствует классу загрязненных, разряду сильно загрязненных вод, оз. Шамсутдин — классу загрязненных, разряду умеренно загрязненных вод, оз. Кандрыкуль — классу вод умеренной чистоты, разряду слабо загрязненных, оз. Аслыкуль и Яктыкуль — классу умеренной чистоты, разряду достаточно чистых вод.

Особенно интенсивно антропогенному эвтрофированию подвергаются озера на территории городов Республики Башкортостан, особенно г. Уфы [3]. Проведенные нами исследования показали усиление антропогенного эвтрофирования озер Республики Башкортостан вследствие усилившегося рекреационного использования. В водоемах на территории г. Уфы наблюдается «цветение» воды, способы борьбы с которым являются сложно решаемой проблемой.

Итогом «цветения» воды является общая деградация водных экосистем. Колонии и клетки цианобактерий, вызывающих цветение воды, обладают разнообразными адаптивными механизмами, определяющими успешное развитие их в тех или иных условиях. Например, они имеют высокую скорость размножения, эффективную защиту от ингибирующих интен-

сивностей солнечного света, различные механизмы регулирования вертикальной плавучести. В слизи, покрывающей колонии некоторых цианобактерий, постоянно находятся гетеротрофные и фототрофные бактерии, простейшие, пикопланктонные автотрофные организмы и т.д. Этот «конгломерат» сопутствующих организмов значительно повышает устойчивость колоний цианобактерий к неблагоприятным воздействиям окружающей среды, например, помогает выжить колонии в темноте за счет органических веществ, накопленных конгломератом. Перечисленные свойства и специфика строения колоний цианобактерий значительно затрудняют разработку методов сокращения их численности.

Если строение, физиология и экология цианобактерий на планктонной стадии их жизненного цикла в значительной мере изучена, то полного понимания механизмов «цветения» и эффективных методов устранения цианобактерий пока нет. В настоящее время в мире активно осуществляется разработка теоретических основ и поиск практических мероприятий по борьбе с массовым развитием цианобактерий в континентальных водоемах. Все описанные в литературе последних лет способы борьбы с развитием цианобактерий можно условно разделить на четыре категории: физико-химические, химические, биохимические, биологические. Как правило, внешняя фосфорная нагрузка снижается в основном за счет прекращения сброса стоков в водоем или увеличением степени их очистки, а внутренняя фосфорная нагрузка — за счет откачки донных отложений. Известно, что высокое содержание O_2 в гипolimнионе приводит к увеличению продолжительности донной стадии в жизненном цикле цианобактерий. Поэтому обогащение O_2 придонных слоев воды за счет применения пневматических и эжекторных аэраторов — известный метод предотвращения развития цианобактерий, который широко применялся в последнее время на водоемах Дании и Голландии. Эффективным методом борьбы с цветением воды служит использование калий-, олово-, медь- или хлорсодержащих химических веществ (альгицидов). К биохимическим методам относят мероприятия по вселению или расселению в водоеме организмов или биологических субстанций, которые выделяют в воду аллелопатические вещества (экзометаболиты), ингибирующие рост цианобактерий. Эти вещества выполняют функцию природных альгицидов, вовлеченных в регуляцию состава водной флоры. Например, рост цианобактерий подавляется с помощью заселения в зоны «цветения» воды высшей водной растительности (макрофитов). Перспективными в борьбе с микроцистисом считаются экзометаболиты (*Myriophyllum spicatum*). *M. spicatum* выделяет четыре полифенола (эллаговая, галловая и пирогалловая кислоты и (+)-катехин), смесь которых вызывает синергическое ингибирование роста цианобактерий. Дополнительный эффект от расселения макрофитов связан с тем, что инициация цветения воды начинается с литоральной (прибрежной) зоны. Заселение данной зоны макрофитами резко снижает возможность перехода цианобактерий из донных отложений в толщу воды, а также уменьшает внутреннюю фосфорную нагрузку за счет сокращения взмучивания донных осадков. Кроме этого, макрофиты вместе с ассоциированными перифитонными водорослями выступают в роли своеобразной «ловушки» для биогенных элементов, в том числе поступающих с рассеянным стоком с берегов и из притоков. Для полного успеха рекомендуют заселять макрофитами около 25% площади водоема.

Одним из самых эффективных биохимических методов борьбы с цианобактериями считается внесение в водоем ячменной соломы. Известно, что разлагающаяся солома ингибирует рост большинства видов цианобактерий. Солому успешно применяли на водоемах Англии, Австралии, США, Южной Африки. Достоинство метода — длительность ингибиторного действия (6–8 месяцев).

Биологические методы предотвращения развития цианобактерий основаны на гипотезе трофического каскада — теории биоманипуляции «top-down» (сверху вниз). Технически применение биологических методов сводится: 1) к увеличению численности животных, потребляющих цианобактерий в пищу; 2) к сокращению численности животных, способствующих развитию цианобактерий за счет потребления в пищу водорослей — конкурентов цианобактерий за доминирование в планктоне. К потенциальным потребителям цианобактерий

традиционно относят крупных дафний и растительноядных рыб, а к видам, способствующим развитию — карповых планктоядных и бентоядных рыб, некоторых моллюсков.

Другое положение классической гипотезы трофического каскада — о необходимости элиминации планктоядных и бентоядных карповых рыб из водоема — получает все большее практическое подтверждение. Практическая биоманипуляция, осуществленная на красноярском водохранилище Бугач, показала, что карповые рыбы — один из важных биологических факторов, способствующих развитию цианобактерии *Microcystis* в водоемах. Положительное влияние карповых рыб на рост *Microcystis* определяется следующим. Во-первых, карповые рыбы постоянно взмучивают донные отложения при добывании пищи, что приводит к резкому увеличению потока биогенных элементов из седиментов в толщу воды. Во-вторых, карповые рыбы стимулируют развитие за счет прямой экскреции фосфора. При этом рыбы экскретируют азот и фосфор в постоянной пропорции N:P = 12:1, которая считается благоприятной для развития цианобактерии. В-третьих, представители карповых рыб, в частности карась и плотва, могут стимулировать развитие *Microcystis* при транзитном прохождении данной цианобактерии через их кишечники. Известным биологическим способом подавления массового развития цианобактерий является вселение в водоем растительноядной рыбы белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* Val.

Ответы на вопросы, как и почему «цветение» происходит, а также как бороться с «цветением», актуальны не только для гидроэкологов, но и для государственных органов, занимающихся охраной здоровья населения. Известные методы контроля развития цианобактерий в масштабе целых водоемов, как правило, являются трудоемкими и требуют высоких финансовых затрат. Перспектива методологии борьбы с массовым развитием цианобактерий принадлежит комплексным экотехнологиям, выполненным на основе сочетания биологических, физико-химических и биохимических. Ситуация усугубляется низкой экологической грамотностью большинства хозяйственных руководителей и широких слоев населения, отсутствием эффективной системы правовых и экономических рычагов, стимулирующей природоохранную деятельность и борьбу с цианобактериальным цветением. Исторически сложилось, что в России уделяется мало внимания социальным функциям экологической науки, например, воспитанию и привлечению молодежи к занятию экологией. Борьба с цианобактериями может позволить преодолеть ограниченность традиционного подхода и оказать прямое воздействие на социальную жизнь. Так, для борьбы с цветением необходимо по берегам высаживать деревья, которые препятствуют поступлению фосфора (основного стимулятора роста цианобактерий) с прибрежных территорий. Это можно осуществить только при активном привлечении молодежи и волонтеров. Другими словами, экологические технологии борьбы с цветением воды могут стать «естественным» центром притяжения для социально активных людей.

Литература:

1. **Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.** Биоразнообразие водорослей — индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.
2. **Шкундина Ф.Б., Гуламанова Г.А.** Основные тенденции антропогенного эвтрофирования озер Республики Башкортостан // Вестник ОНУ. 2008. Т. 13, вып. 4. С. 106–111.
3. **Шкундина Ф.Б., Турьянова Р.Р.** Фитопланктон водоемов г. Уфы (Башкортостан, Россия) // Альгология. 2009. № 1. С. 66–76.