

коэффициенты шероховатости n . Рекомендуется, получив оценки целесообразности калибровки на створах по видам параметров, ранжировать параметры по видам и проводить калибровку одного вида. Такая условно градиентная оптимизация позволяет избежать «топтаний» и «заикливаний». Несмотря на большее число экспериментов, сложность каждого меньше, чем корректировка всех параметров сразу. Трудоемкость подготовки каждого эксперимента калибровки зависит от технологии обработки данных и корректировки модели, многие действия здесь могут быть автоматизированы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штернлихт Д.В. Гидравлика. М., Колос, 2004, 656 с.
2. Грушевский М.С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. Л., Гидрометеоздат, 1982, 288 с.
3. Справочник по гидравлическим расчетам. Ред. П.Г.Киселева, М., Энергия, 1972, 312 с.
4. Аполов Б.А. Учение о реках. М., из-во МГУ, 1963, 422 с.
5. Никифоров Д.А. Компьютерные модели рек и водохранилищ для гидравлических расчетов. их создание и калибровка. // Сб. Материалы конференции ИВП РАН, 2012,
6. Кюнж Ж.А., Холли Ф.М., Вервей А. Численные методы в задачах речной гидравлики: практическое применение. М., Энергоиздат, 1984, 255 с.
7. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П. Столярова Е.М. «Методы оптимизации». М.: Наука, 1978. 352 с.
8. Васильев Ф.П. «Численные методы решения экстремальных задач». - М.: Наука, 1988. - 551 с.
9. Левит-Гуревич Л.К. Многомерный поиск оптимума Фибоначчи и задачи калибровки гидравлических моделей рек. // Международная конференция «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды», 2010 г. Том III – Нальчик: КБНЦ, 2010, С.107 – 112.
10. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. М.: Радио и связь, 1988.
11. Уайльд Д.Дж. «Методы поиска экстремума». - М.: Наука, 1967, - 268 с.

БИОГЕННОЕ МАНИПУЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ БОРЬБЫ С «ЦВЕТЕНИЕМ» ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОДОЕМАХ

Левич А.П., Булгаков Н.Г.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

BIOGENIC MANIPULATION AS A WAY OF STRUGGLE AGAINST CYANOBACTERIAE BLOOMING IN WATER BODIES

Levich A.P., Bulgakov N.G.

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Антропогенное обогащение природных вод компонентами минерального питания водорослей приводит к изменению качества вод, нежелательному по отношению ко многим целям водопользования: бытовой, рекреационной, рыбохозяйственной, энергетической и т.д. Обычная причина эвтрофирования водоемов – увеличение нагрузки по соединениям фосфора [1, 2].

Типичное последствие эвтрофирования водоемов – бурное «цветение» цианобактерий с последующим отмиранием их избыточной биомассы, выделением токсинов, нарушением кислородного режима, органолептическими проявлениями гниения и т.д.

С эколого-трофологической точки зрения накопление в водоемах избыточной биомассы синезеленых при эвтрофировании есть следствие того, что большинство

таксонов цианобактерий являются трофическим тупиком в пищевых цепях гидробионтов.

Типичный путь преодоления эвтрофирования – снижение фосфорной нагрузки на водоемы. Однако этот путь, как правило, трудно осуществим: источники фосфорных соединений не локализованы, многочисленны, разнородны и сопряжены с такими сторонами человеческой деятельности, ограничение которых требует изменения образа жизни миллионов людей. Типичные способы преодоления последствий эвтрофирования – это химические методы осаждения соединений фосфора [3] и физико-химические методы «борьбы» с цианобактериями: механическое удаление биомассы, аэрация огромных территорий, применение альгицидных препаратов и веществ-коагулянтов, использование ультразвука [4 – 7]. Все эти методы недешевы и малоэффективны, а внесение альгицидных соединений неблагоприятно сказывается на жизнедеятельности других гидробионтов.

Для преодоления нежелательных последствий обогащения водоемов соединениями фосфора предложен комплекс экологических методов управления экосистемами [8, 9]. Напомним два возможных механизма возникновения «гиперцветения» цианобактерий в результате обогащения вод фосфором.

Первый из них связан со способностью некоторых таксонов цианобактерий (и только цианобактерий) к фиксации растворенного в воде азота [10 – 12]. При избытке солей фосфора развитие водорослей ограничено соединениями азота и безусловное преимущество в росте получают виды цианобактерий, способные к азотфиксации. Другими словами, неазотфиксирующие организмы (зеленые, диатомовые, эвгленовые, некоторые виды цианобактерий) растут пропорционально имеющимся (невысоким) ресурсам азота, а азотфиксирующие цианобактерии – пропорционально высоким поступлениям фосфора.

Второй механизм доминирования цианобактерий, точнее их неазотфиксирующих таксонов, может быть связан с низким оптимальным для их роста отношением азота к фосфору в поступающих ресурсах. Отношение азота к фосфору в компонентах минерального питания является фактором, управляющим доминированием видов в альгоценозах.

Об этом, в частности, свидетельствует анализ математико-экологических моделей. Из этого анализа вытекает утверждение о том, что оптимальные для различных групп микроводорослей отношения веществ близки к отношениям клеточных потребностей в этих веществах каждой из рассматриваемых групп [13].

Доказательства направленного влияния отношения азота к фосфору на различные таксоны микроводорослей содержит ряд эмпирических исследований природного и лабораторного фитопланктона. Результаты собственных экспериментов по накопительному культивированию прудового фитопланктона *in vitro* [14] показали, что при смене отношения начальных концентраций азота и фосфора в культуральной среде изменяется состав альгоценоза. У цианобактерий максимальная биомасса достигается при низких отношениях (2 – 5). При этом среди цианобактерий преобладают неазотфиксирующие виды, из чего можно сделать вывод о том, что на улучшение или ухудшение условий их роста влияло не абсолютное количество азота, а отношение азота к фосфору в среде. По данным других авторов, как отмечалось выше, управление цветением цианобактерий, как и других отделов фитопланктона из природных водоемов, с успехом можно осуществлять при варьировании отношения компонентов минерального питания в искусственной среде.

Опыты по внесению в пруды минеральных форм азота и фосфора в различных количественных сочетаниях позволяют говорить о возможности достижения эффекта направленного регулирования типа "цветения" в природных условиях [15 – 18]. При повышении величины отношения азота к фосфору биомасса зеленых возрастает, а биомасса цианобактерий, наоборот, снижается. Здесь так же, как и в опытах *in vitro*, стимулирование цианобактерий при низком отношении осуществляется за счет доминирующих видов, не способных к азотфиксации.

Сопоставление многочисленных данных по озерам мира [19, 20] подтверждает вывод о том, что цианобактерии наиболее жизнеспособны при более низких значениях отношения азота к фосфору, чем, например, зеленые водоросли.

Предлагаемый экологический путь избавления от избыточной (вследствие фосфорного обогащения) продукции трофически неиспользуемых цианобактерий включает два шага экосистемного управления.

Первый шаг – биогенное манипулирование – состоит в увеличении в воде эвтрофированного водоема отношения азота к фосфору. Нетрадиционность (и даже парадоксальность) метода заключена в том, что необходимое увеличение достигается не за счет снижения количества фосфора, а за счет добавления в эвтрофированный водоем соединений азота. Как показывают названные выше модельные и экспериментальные исследования, при определенных отношениях в среде азота к фосфору биогенная манипуляция приводит к подавлению цветения цианобактерий и доминированию зеленых (в частности, хлорококковых) микроводорослей.

Второй шаг управления – биоманипулирование – заключается в интродукции в водоем фитопланктонных рыб, переводящих избыточную первичную продукцию активно потребляемых ими хлорококковых во вторичную продукцию рыб. Для этой цели оправдано введение в действие рациональной системы удобрения рыбоводных водоемов, в которые интродуцированы белые и пестрые толстолобики [17, 18, 21]. Апробация такой системы в прудах для выращивания молоди и товарной рыбы показала высокую эффективность проводимых мероприятий [17]. Избыток вносимого в воду азота не переходит в избыток азотсодержащих соединений (нитраты, нитриты и т. д.) в тканях рыб. Содержание солей одинаково в рыбах из опытных и контрольных прудов и не выходит за верхнюю границу, предписанную санитарным ГОСТом.

Интродукция растительноядных рыб – не единственный путь утилизации избыточной (за счет эвтрофирования) биомассы зеленых микроводорослей. Клетки зеленых активно потребляются мирным зоопланктоном, который, в свою очередь, служит пищей плотоядным гидробионтам, в силу чего первичная продукция в обычных для трофических пирамид пропорциях трансформируется в конечные звенья пастбищных и детритных пищевых цепей водоема. Именно поэтому не наблюдают катастрофических последствий бурного «цветения» зеленых, диатомовых и других активно потребляемых таксонов водорослей: вслед за пиком цветения водорослей следуют пики численности зоопланктона и т.д. Таким образом, в отличие от цианобактерий биомасса потребляемых водорослей не накапливается и не разлагается. Именно поэтому парадоксальное добавление азотных форм питательных веществ в обогащенный фосфором водоем не приводит к усугублению нежелательных последствий эвтрофирования (отравлению водоема, недостатку кислорода).

Предложенные методы регуляции типа цветения (смена доминирования цианобактерий на преобладание зеленых водорослей) применимы для рекреационных водоемов, для водоемов-охладителей, для водоемов питьевого и комплексного назначения. Особую роль биогенные манипуляции могут играть как элементы рациональной экологизированной системы удобрения рыбоводных водоемов, включающих растительноядных рыб.

Существуют ситуации, в которых желательное и противоположное направление регулирования цветения. Речь идет о водоемах-накопителях неочищенных бытовых и зоологических стоков, воду из которых после биологической доочистки предлагается использовать для полива сельскохозяйственных культур. Низкие значения отношения азота к фосфору (за счет добавок фосфорных соединений) в таких водоемах приведут к цветению воды цианобактериями. Цианобактерии за счет биоцидных (бактерицидных, фунгицидных и т.п.) свойств [22] в достаточной степени способны к обеззараживанию сточных вод птицефабрик, звероферм, некоторых животноводческих комплексов и предприятий коммунально-бытового хозяйства. Токсины большинства синезеленых водорослей обладают широким спектром антимикробного действия по отношению к

представителям сапрофитных и патогенных микроорганизмов. При больших концентрациях токсинов происходит подавление бактерий-сапрофитов, болезнетворных микробов (эшерихий, сальмонелл, шигелл, стафилококков), яиц гельминтов [23].

Избыточное содержание цианобактерий вместе с другими водорослями в воде для полива может положительно сказываться на развитии сельскохозяйственных культур, в частности, хлопчатника. При орошении земель водой с высокой биомассой фитопланктона улучшается их биологическое состояние (обеспечение кислородом, закрепление в почве азотистых и гумусовых веществ, обогащение ее белками, витаминами, ауксинами, микроэлементами, незаменимыми аминокислотами, минеральными солями), успешно протекает борьба с корневой гнилью, снижается заболеваемость хлопчатника [24]. Некоторые виды цианобактерий способны продуцировать метаболиты, стимулирующие всхожесть семян и рост взрослых особей хлопчатника, пшеницы, риса [25, 26].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vollenweider R.A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris, 1971.
2. Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. Цветение воды и эвтрофирование. Киев: Наукова думка, 1978. 231 с.
3. Safferman R.S., Morris M. Algae virus: isolation // Science. 1963. V. 140. Pp. 679 – 680.
4. Комаренко Л.Е., Васильева И.И. Влияние водорослей на питьевые качества воды и необходимость охранных мероприятий // Природа Якутии и ее охрана. Якутск, 1972. С. 140.
5. Schmidt W.D. Probleme und Praxis bei Algenbekämpfung in Infiltrationsbecken // Goldschmidt inform. 1973. №27. S. 24 – 33.
6. Бумбу Я.В., Гарштя Л.Я., Чекой В.Н. и др. Коагулирующее действие сернокислого глинозема и влияние микроэлементов на массовое развитие фитопланктона в открытых водоемах // "Цветение воды" и методы его ограничения и использование водорослей. Вып. 2. Киев, 1976. С. 98.
7. Бумбу Я.В., Мокряк А.С., Доготарь Т.В. О влиянии минеральных коагулянтов на развитие планктонных водорослей // Изв. АН МССР. Сер. биол. и хим. наук. 1974. №3. С. 87.
8. Левич А.П. Экологические подходы к регулированию типов цветения эвтрофных водоемов // Доклады Академии наук. 1995. Т. 341. №1. С. 130-133.
9. Levich A.P. The role of nitrogen-phosphorus ratio in selecting for dominance of phytoplankton by cyanobacteria or green algae and its application to reservoir management // J. Aquatic Ecosystem Health. 1996. V. 5. Pp. 1 – 7.
10. Carpenter E.J., Price C.C. Marine Oscillatoria (Trichodesmium): explanation for aerobic nitrogen fixation without heterocysts // Science. 1976. V. 191. Pp. 1278 – 1280.
11. Bryceson I., Fay P. Nitrogen fixation in Oscillatoria (Trichodesmium) crytheraea in relation to bundle formation and differentiation // Mar. Biol. 1981. V. 61. P. 159.
12. Bothe H. Nitrogen fixation // The biology of cyanobacteria. Oxford, 1982. Pp. 87-104.
13. Левич А.П. Искусство и метод в моделировании систем. М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. 728 с.
14. Левич А.П., Худоян А.А., Булгаков Н.Г., Артюхова В.И. О возможности управления видовой и размерной структурами сообщества в экспериментах с природным фитопланктоном in vitro. 2 // Биол. науки. 1992. №7. С.17 – 31.

15. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Саломатина Т.В. Гидробиологическое состояние рыбоводного пруда в ответ на учащенное внесение минеральных удобрений // Тр. ГосНИОРХ. Л., 1988. Т. 280. С. 143 – 149.
16. Булгаков Н.Г., Левич А.П., Никонова Р.С., Саломатина Т.В. О связи между экологическими параметрами и продукционными показателями выростного рыбоводного пруда // Вестник Моск. ун-та. Сер. биологическая. 1992. №2. С.57 – 62.
17. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Замолотчиков Д.Г. Оптимизация структуры кормовых фитопланктонных сообществ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 1996. 136 с.
18. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Никонова Р.С. Рациональное удобрение рыбоводных прудов с разнородной посадкой // Известия РАН. Сер. биол. 1996. №1. С. 121 – 124.
19. Schindler D.W. Evolution of phosphorus limitation in lakes // Science. 1977. V. 195. Pp. 260 – 262.
20. Smith V.H. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in lake phytoplankton // Can. J. Fish. and Aquat. Sci. 1986. V. 43. Pp. 148 – 153.
21. Levich A.P., Bulgakov N. G. Regulation of species and size composition in phytoplankton communities in situ by N:P ratio // Russian Journal of Aquatic Ecology. 1992. V. 1. №2. Pp. 149 – 159.
22. Сиренко Л.А., Козицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наукова думка, 1988. 256 с.
23. Кирпенко Ю.А., Сиренко Л.А., Орловский В.М., Лукина Л.Ф. Токсины сине-зеленых водорослей и организм животного. Киев, 1977. 252 с.
24. Музафаров А.М., Джуманиязов И.Д., Казиев С.М., Шток Д.А. Задачи и перспективы альголизации орошаемых земель // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве. Материалы респ. конф., Ташкент, 27 – 29 августа 1984 г. Ташкент, 1984. С. 9.
25. Касымова Г.А., Ходжибаева С.М., Бородин Г.И., Рунов В.И. Выделение и изучение некоторых биологически активных соединений из биомассы *N. muscorum* // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве. Материалы респ. конф. Ташкент. 27 – 29 августа 1984 г. Ташкент, 1984. С. 49.
26. Краснянская Н.Б., Чепенко Л.И., Ходжибаева С.М., Рунов В.И. Биологически активные метаболиты *Nostoc muscorum* // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве. Материалы респ. конф. Ташкент, 27 – 29 августа 1984. 1984. С. 48.

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШИШИМСКОГО И ДАРЬИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ**

Лепаловский С.И.

Экспертная группа «Водные ресурсы Свердловской области»,
Первоуральск, Россия

**SOLUTION OF PROBLEMS IN DESIGNING AND CONSTRUCTION
OF SHISHIM AND DARYINSK RESERVOIRS**

Lepalovskiy S.I.

“Sverdlovsk Oblast Water Resources” Group of Experts, Pervouralsk, Russia

Моё видение, как эксперта – эколога по водным ресурсам Свердловской области по экосистемам для проектирования и строительства Шишимского и Дарьинского водохранилищ, которые будут расположены между промышленными городами –