



Е. Г. СОРОКОВИКОВА

# Сине-зеленая УГРОЗА

Некогда эти организмы сыграли ключевую роль в эволюции биосферы, став изобретателями наиболее эффективного способа фотосинтеза, идущего с выделением кислорода. В результате цианобактерии не только создали биосферу «современного типа», но и по сей день поддерживают ее, производя органическое вещество из углекислого газа и воды и выделяя кислород. Однако современное человечество эти исконные обитатели планеты интересуют в первую очередь как виновники сезонного «цветения» водоемов и продуценты опасных для жизни и здоровья токсинов

**А**нтропогенное загрязнение вод, устройство каналов и искусственных водохранилищ с зарегулированным стоком создает благоприятные условия для массового развития *цианобактерий* – древнейших одноклеточных прокариотических организмов, не совсем точно называемых еще сине-зелеными водорослями. «Цветение» водоемов, вызванное массовым размножением цианобактерий, в наше время приобретает глобальный характер.

По данным мировой статистики, примерно в половине случаев такого «цветения» в воде присутствуют



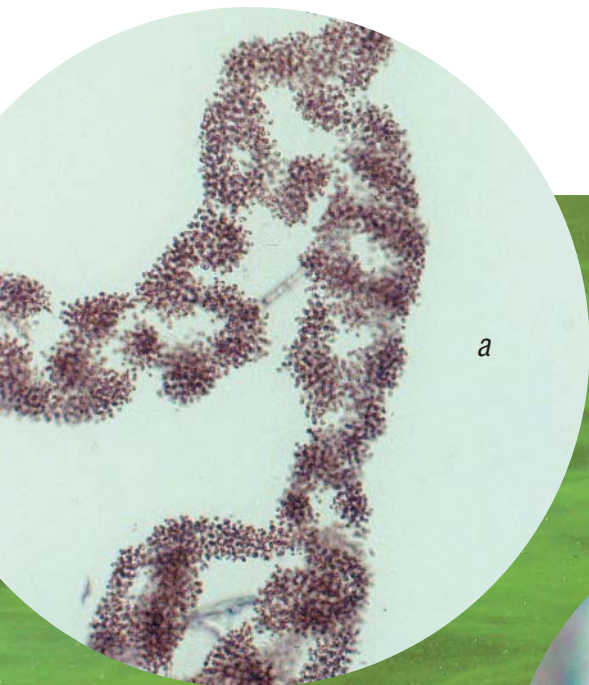
СОРОКОВИКОВА Екатерина Георгиевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела микробиологии Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 9 научных работ. Победитель конкурса на право получения грантов президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (2010 г.)

токсины – ядовитые вещества, вырабатываемые цианобактериями. Первое сообщение о гибели домашних животных, пивших воду из «цветущего» водоема, появилось еще в 1878 г. в журнале *Nature*. А в 1966 г. в бразильском г. Каруару погибли 63 пациента гемодиализного центра. Как выяснилось, для диализа использовали воду, зараженную цианотоксинами. Это событие привлекло внимание исследователей к их изучению.

Особенно остро проблема «цветения» водоемов стоит в странах с теплым климатом, так как высокие температуры, хорошая освещенность и большое количество питательных веществ способствуют массовому развитию цианобактерий. Однако оказалось, что она актуальна и для более «бедных» олиготрофных водоемов в холодных регионах. Цианотоксины, ставшие причиной гибели домашнего скота, были найдены даже в альпийских озерах!

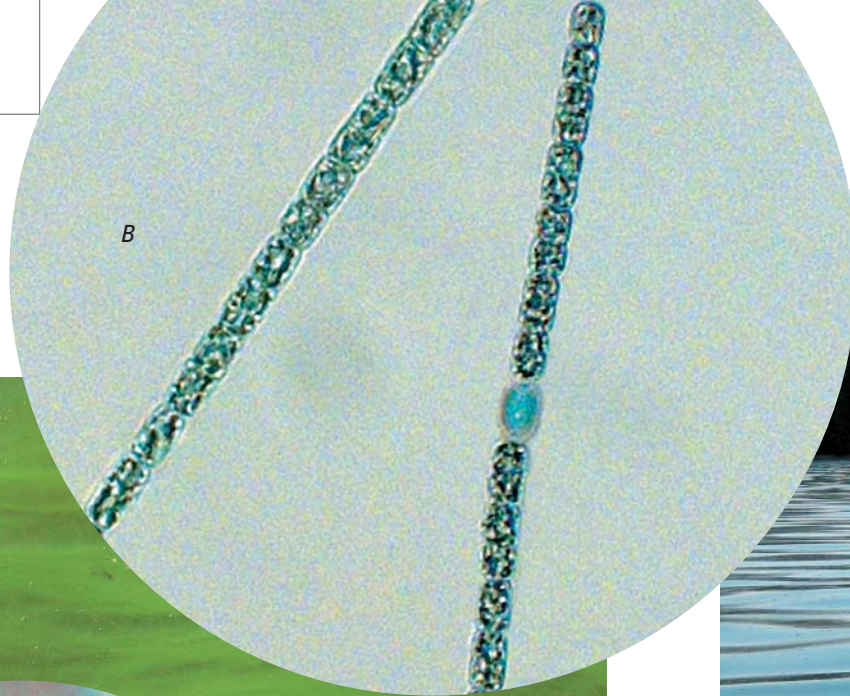
**Ключевые слова:** цианобактерии, «цветение» воды, гепатотоксины, нейротоксины, микроцистин, сакситоксин.  
**Key words:** cyanobacteria, green scum (green water), hepatotoxins, neurotoxins, microcystin, saxitoxin



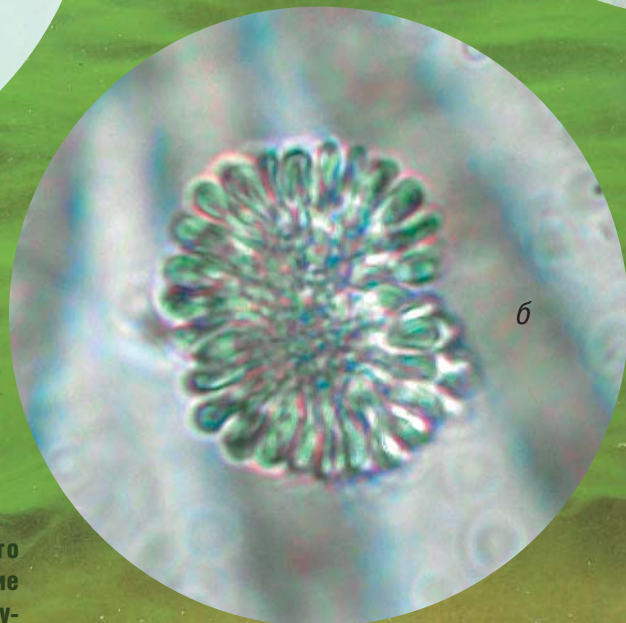


a

Все эти виды цианобактерий из оз. Котокельское потенциально токсичны: a – *Microcystis aeruginosa*; б – *Snowella lacustris*; в – *Aphanizomenon flos-aquae*. Оптическая микроскопия



в



б

Недавно было обнаружено, что гены цианобактерий, отвечающие за синтез токсинов, также участвуют в синтезе других биологически активных веществ, в том числе с противобактериальными и противогрибковыми свойствами, а также с противораковым (цитостатическим эффектом). И сейчас микробиологи активно ведут поиск продуцентов новых лекарственных средств



Цианобактерии могут бурно размножаться не только на прибрежном мелководье, но и по всей акватории озера, из-за чего вода приобретает характерный сине-зеленый цвет

## Нодулярия Борджиа

Около половины видов в каждом из пяти десятков ныне существующих родов цианобактерий способны продуцировать токсины. Наиболее распространены и изучены токсичные цианобактерии родов *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nodularia*. Именно они, как правило, и вызывают «цветение» озер и водохранилищ и вырабатывают различные токсины, которые могут поражать печень (гепатотоксины) или нервную систему (нейротоксины) млекопитающих.

Чаще всего в воде оказываются гепатотоксины – циклические пептиды *микроцистин* и *нодуларин*. Их недаром называют «факторами быстрой смерти»: гибель лабораторных мышей при внутрибрюшном введении этих токсинов наступает в течение нескольких часов. Длительное воздействие низких доз микроцистина приводит к раку и циррозу печени. К тому же, микроцистин очень устойчив, он не разрушается кипячением, обработкой ультрафиолетовым излучением и хлорированием воды, а из-за малого размера молекул

не улавливается фильтрами. Другой гепатотоксин – нодуларин – тоже канцероген; он легко проникает в гепатоциты и вызывает их разрушение.

Более редкие нейротоксины – *анатоксины* и *сакситоксины* – являются алкалоидами. Они опасны для животных, поскольку разрушают нейромышечные контакты, вызывают паралич дыхательной мускулатуры и быструю смерть. Летальная доза сакситоксина – всего 10 мкг/кг.

Цианотоксины высвобождаются из отмерших клеток и могут накапливаться в водоемах. Таким образом, первое звено в цепи аккумуляции и передачи цианотоксинов – вода. Второе – моллюски и рыбы, далее – теплокровные наземные животные и человек. Дикие копытные, домашний скот и другие животные могут отравиться на водопое, если в пищеварительный тракт попадет вода с токсинами или сам фитопланктон. Загрязнение цианотоксинами источников водоснабжения и водозаборов представляет большую опасность для



Этот «безопасный» вид цианобактерий – *Gloeotrichia echinulata* – ранее доминировал в оз. Котокельское, но сейчас уступил свои позиции токсичным представителям родов *Anabaena* и *Microcystis* (справа – *A. lemmermannii*)

человека. Отравление людей может произойти даже при обычном купании в «цветущем» водоеме.

## Токсины есть, ПДК – нет

В последнее время во всем мире стали обращать особое внимание на качество природной воды. Это вызвано, с одной стороны, повышением санитарно-гигиенических требований, с другой – ухудшением состояния пресноводных экосистем, основных источников питьевой воды. К тому же, проблема экологической чистоты воды и пищи сегодня не только «модная» тема, но и предмет специального изучения.

По рекомендации ВОЗ во многих странах осуществляется мониторинг цианотоксинов в питьевой воде и продуктах питания, утверждены их предельно допустимые концентрации. Однако в России нет подобных стандартов, и, соответственно, сезонный мониторинг цианотоксинов в питьевой воде не проводится, несмотря на ежегодное «цветение» многих водохранилищ. Документально зафиксированы случаи отравления и даже смерти людей при употреблении в пищу рыбы из «цветущих» водоемов (например, в 2008 г. в Бурятии, на оз. Котокельское). Следовательно, контроль за содержанием цианотоксинов в водоемах, использующихся в рекреационных целях и для рыболовства, необходим.

Специалисты Лимнологического института СО РАН с 2005 г. ведут поиск и изучение токсичных цианобактерий в водоемах Восточной Сибири. Для



их обнаружения можно использовать различные методы. Наиболее простой и доступный – ПЦР-диагностика: последовательности генов, ответственных за синтез цианотоксинов, уже расшифрованы и доступны в мировой базе данных Genbank.

С помощью маркеров к гену, кодирующему фермент микроцистин-синтетазу, удалось установить, что в некоторых восточно-сибирских водоемах (оз. Котокельское, Братском и Усть-Илимском водохранилищах) присутствуют цианобактерии родов *Anabaena* и *Microcystis*, способные к синтезу микроцистина. С помощью методов жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии в пробах фитопланктона оз. Котокельское

было обнаружено три разновидности микроцистина, в том числе и наиболее токсичный микроцистин-LR. По нормам ВОЗ, его ПДК в питьевой воде – лишь 1 мкг/л.

Эти результаты вызвали большой интерес гидробиологов и многочисленные предложения заняться изучением различных водоемов России и стран СНГ, где наблюдается массовое развитие цианобактерий. В результате география исследования значительно расширилась за счет проб, полученных от коллег из Красноярска, Калининграда, Украины, Белоруссии. И практически все они содержали гены микроцистин-синтетазы...



В 2010 г. с помощью генетического анализа в водоемах Иркутской области удалось выявить цианобактерии, содержащие гены синтеза еще одного токсина – сакситоксина. Новый метод – иммуоферментный анализ – позволил подтвердить присутствие в воде самих токсинов.

Впервые за пять лет мониторинга токсичные цианобактерии были обнаружены в Байкале. На открытых водных пространствах озера «цветение» воды невозможно: низкие температуры и нехватка питательных веществ, необходимых для роста цианобактерий, надежно хранят чистоту байкальских вод. Но неглубокие заливы – излюбленные места отдыха туристов – летом хорошо прогреваются. В загрязненных человеком прибрежных зонах складываются благоприятные условия для развития цианобактерий, и байкальская вода здесь может содержать цианотоксины.

Этот факт вызывает особую тревогу. Ведь если даже самое чистое озеро планеты нуждается в сезонном мониторинге цианотоксинов, то что говорить о других водоемах России?

Синева-зеленый оттенок, который приобретает вода с гниющей биомассой фитопланктона, обусловлен выходом из клеток вспомогательного фотосинтетического пигмента цианобактерий – фикоцианина. Сегодня это цвет опасности. Оз. Котокельское, август 2010 г.

*Литература:*

Voloshko L. N., Pljushh A. V., Titova N. N. *Toksiny cianobakterij (Cyanobacteria, Cyanophyta)* // *Algologija*. 2008. T. 18, № 1. S. 3–20.

Gromov B. V. *Cianobakterii v biosfere* // *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal*. 1996. № 9. S. 33–39.

Tihonova I. V. *i dr. Analiz cianobakterij ozera Bajkal i Ust'-Ilimskogo vodохранилиsha na nalichie gena sinteza mikroцистина* // *Doklady RAN*. 2006. T. 409, № 3. S. 1–3.

В публикации использованы фото автора