

О ВЗАИМООТНОШЕНИЯХ  
*CERATOPHYLLUM DEMERSUM* L.  
С НЕКОТОРЫМИ СИНЕЗЕЛЕННЫМИ ВОДОРΟΣЛЯМИ

Ш. И. КОГАН, Г. А. ЧИННОВА

(Институт ботаники АН ТССР, Ашхабад)

Эксперимент по совместному выращиванию *Ceratophyllum demersum* L. с азот-фиксирующими синезелеными водорослями — *Anabaena karakumica* Kog., *A. robusta* Kog. et Jaz. и *Anabaenopsis intermedia* Kog. — показал сильное альгицидное действие прижизненных выделений этого макрофита. Возможность пищевой конкуренции между макрофитами и водорослями исключается, так как в культуральной жидкости после отмирания последней было еще достаточно азота и фосфора. Водная вытяжка из свежего макрофита действовала на водоросли стимулирующе. Макрофит хорошо развивался в колбах с культурой водорослей и использовал фиксированный ими азот.

Причиной угнетения водорослей, очевидно, являются прижизненные выделения *C. demersum*.

Высшие водные растения (макрофиты) играют большую роль в жизни водных биоценозов. Многие исследователи обратили внимание на то, что сильное зарастание водоемов макрофитами приводит к подавлению развития фитопланктона, причем влияние это зависит от видовой принадлежности макрофитов и интенсивности их разрастания [1—3, 6, 8, 11—14, 18, 19, 21, 22 и др.]. Во многих водоемах Туркменской ССР наблюдается интенсивное разрастание погруженных макрофитов. Так, на некоторых пойменных озерах Мургаба биомасса роголистника достигает в сыром весе  $24 \text{ кг/м}^2$ , что в пересчете на 1 га составляет 2400 ц [7]. В таких водоемах в слое воды над зарослями роголистника фитопланктон практически отсутствовал, хотя вода была достаточно прозрачна и хорошо прогрета. По тем же данным [6] на озерах Западного Узбоя влияние зарослей роголистника на развитие фитопланктона проявлялось очень наглядно. Так, в оз. Кара-Тегелек над густыми зарослями роголистника численность фитопланктона составляла 76 тыс. кл/л, в то время как в слабо зарастающем оз. Ясхан она достигала 9 822 тыс. кл/л (главным образом за счет *Microcystis grevillei*).

Одни исследователи пытаются объяснить такие факты пищевой конкуренцией водорослей и макрофитов [18, 19, 22 и др.], по мнению других [1, 3, 12, 13, 15 и пр.] — на водоросли воздействуют своеобразные химические вещества — фитонциды, выделяемые водными растениями в окружающую среду.

Некоторую ясность в данный вопрос внесли интересные опыты К. А. Гусевой и С. П. Гончаровой [4]. Совместное культивирование макрофитов и водорослей в лабораторных сосудах показало, что депрессию водорослей в присутствии высших растений можно объяснить

не только пищевой конкуренцией, но и влиянием веществ, продуцируемых некоторыми из этих растений.

Мы поставили перед собой задачу проследить взаимоотношения высших водных растений (на примере роголистника) и некоторых видов синезеленых водорослей при их совместном культивировании. Результаты такого эксперимента должны были иметь не только теоретическое значение в смысле выяснения взаимоотношений между различными группами гидробионтов, что само по себе очень важно, но и помочь ответить на вопрос о причинах угнетения водорослей планктона в сильно зарастающих водоемах.

**Объекты и методы.** В качестве объектов исследования были взяты три вида синезеленых водорослей из коллекции лаборатории альгологии Института ботаники АН ТССР: *Anabaena karakumica* Kog., *A. robusta* Kog. et Jaz. и *Anabaenopsis intermedia* Kog. Первый и последний виды выделены из планктона Каракумского канала близ Ашхабада [9], второй — из прибрежного ила соленого оз. Малое Делили в юго-западной Туркмении [10]. Водоросли взяты в виде альгологически чистых культур; их способность фиксировать атмосферный азот на безазотистых минеральных средах испытывалась неоднократно. В качестве представителя макрофитов был взят роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.) — водное растение из сем. Ceratophyllaceae. Выбор его не был случаен. Во-первых, были учтены результаты наблюдений одного из авторов настоящей статьи, касающиеся роли зарослей этого макрофита в водоемах ТССР. Во-вторых, вид по своим биологическим особенностям казался нам наиболее подходящим для предстоящего эксперимента. Это бескорневое растение, вся жизнь которого проходит под водой. В ТССР оно растет в водоемах со слабым течением на глубинах до 5 м [5], в тропических озерах — на глубине до 7—8 м [20]. Растение широко распространено в Средней и Атлантической Европе и Средиземье [17].

Основные условия постановки опытов были следующими. В стерильную безазотистую минеральную среду [16], приготовленную на воде из Каракумского канала (содержание общего азота около 0,15 мг/л, фосфора 0,003 мг PO<sub>4</sub>/л; начальный pH 7,4) и разлитую по 0,5 л в конические колбы емкостью 0,75 л, засевали суспензию клеток из 14-дневной культуры синезеленых водорослей. Затем в эти колбы помещали определенную (в зависимости от варианта опыта) биомассу роголистника. Веточки роголистника перед погружением в опытные колбы тщательно промывали сначала под сильной водопроводной струей, затем в стерильной дистиллированной воде с целью освобождения от эпифитных организмов. Колбы закрывали ватными пробками и помещали на стеллажи у окна с северной стороны. Температура в помещении, где стояли колбы, колебалась в пределах 25—28° С.

В опыт были включены следующие варианты:

- 1) 2 г/л роголистника + *A. karakumica*;
- 2) 6 г/л роголистника + *A. karakumica*;
- 3) 2 г/л роголистника + *A. robusta*;
- 4) 6 г/л роголистника + *A. robusta*;
- 5) 2 г/л роголистника + *Anabaenopsis intermedia*;
- 6) 6 г/л роголистника + *A. intermedia*;

Контроль:

- 1) *A. karakumica* без макрофита;
- 2) *A. robusta* без макрофита;
- 3) *A. intermedia* без макрофита;
- 4) 2 г/л роголистника без водорослей;
- 5) 6 г/л роголистника без водорослей.

Все варианты опыта были поставлены в четырехкратной повторности. Результаты приводятся на основании вычисления средней арифметической.

Через каждые 5—10 дней вели подсчет клеток водорослей в опытных колбах. После того, как опыт был закрыт, произвели анализ фильтрата культуральной жидкости на азот методом полумикро Кьельдаля и на фосфор колориметрически методом Дениже—Аткинса, при этом учитывалась биомасса роголистника.

Кроме того, изучали влияние водных экстрактов из свежесобранного роголистника на развитие и азотфиксирующую активность указанных водорослей. В стерильную среду Таха, разлитую по 100 мл в конические колбы емкостью 250 мл, засевали по 1 мл 20-дневной культуры водорослей. Культивирование проводили при круглосуточном освещении (освещенность 2—3 тыс. лк) и температуре 30—32°. Опыт поставлен в четырехкратной повторности.

## Результаты опытов

Исследования показали, что присутствие вегетирующего роголистника губительно влияет на синезеленые водоросли (табл. 1). Альгидное действие макрофита на водоросли наблюдается в вариантах с добавлением роголистника как в количестве 2 г/л, так и 6 г/л. Однако, как свидетельствуют данные (см. рисунок), кривая резче падает во втором случае.

Таблица 1

## Развитие синезеленых водорослей при совместном культивировании с роголистником

Варианты опыта	Количество клеток водорослей в 1 см <sup>3</sup> среды					
	в начале опыта	через 5 дней	через 10 дней	через 15 дней	через 20 дней	через 30 дней
2 г/л рогол. + <i>A. karakumica</i>	15500	2050	1520	840	380	нет
6 г/л рогол. + <i>A. karakumica</i>	15500	910	580	130	нет	нет
2 г/л рогол. + <i>A. robusta</i>	20600	2580	1810	920	660	150
6 г/л рогол. + <i>A. robusta</i>	20600	1260	820	270	120	30
2 г/л рогол. + <i>A. intermedia</i>	35200	4400	2020	750	180	нет
6 г/л рогол. + <i>A. intermedia</i>	35200	1240	260	нет	нет	нет
Контроль:						
<i>A. karakumica</i> без растений	15500	112300	168200	192500	230400	285300
<i>A. robusta</i> без растений	20600	110500	142500	164200	207200	311600
<i>A. intermedia</i> без растений	35200	151300	235000	240500	275200	298100

Необходимо при этом отметить, что сроки гибели разных видов водорослей в культуре с макрофитами различны. Так, более устойчива к прижизненным выделениям роголистника *A. robusta*. *Anabaenopsis intermedia*, напротив, погибала довольно быстро: уже к 15-му дню культивирования в опытных колбах не обнаруживали ни одной живой клетки данного вида.

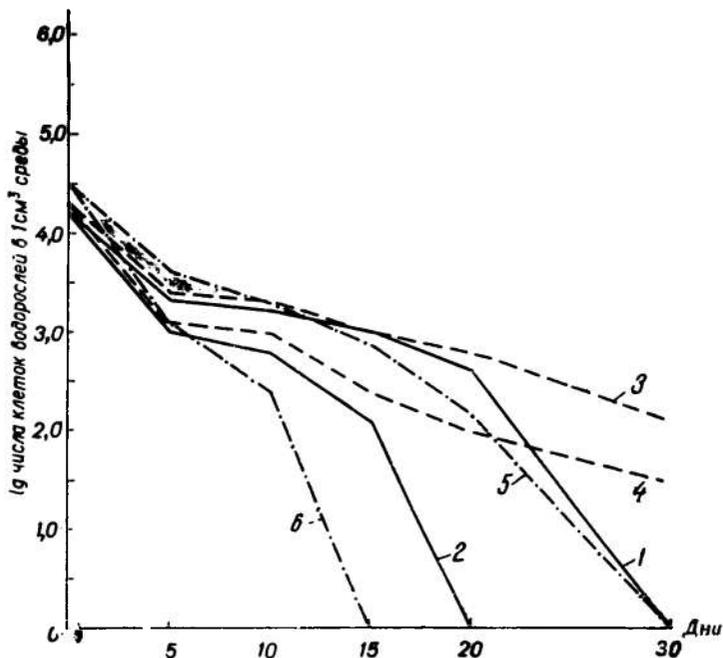
Микроскопирование взятой из опытных колб питательной среды, в которой выращивали макро- и микрофиты, показало, что трихомы водорослей распадаются на более короткие отрезки (в две-три клетки), причем сами клетки оказываются пустыми; наблюдались также скопления пустых гетероцист.

В контрольных колбах водоросли развивались нормально (см. табл. 1). К концу опыта количество клеток в них возросло в 8—18 раз.

Результаты анализов среды из опытных колб, в которых выращивали макро- и микрофиты (табл. 2), убедительно говорят о том, что гибель водорослей в культуре с роголистником ни в коем случае нельзя отнести за счет нехватки питательных элементов в среде. Хотя содержание фосфора в значительной степени понизилось по сравнению с исходным его количеством, однако его было достаточно для поддержания жизнедеятельности водорослей. Потребность в азоте также не могла быть причиной гибели испытуемых водорослей, т. к. все три вида их, взятые в эксперимент, — довольно активные азотфиксаторы (см. табл. 2). Как видим, азот, фиксированный синезелеными водорослями, после их гибели становится достоянием вегетирующего роголистника: в вариантах совместной культуры водорослей и различных количеств роголистника азота было меньше там, где была выше биомасса макрофита. Кроме того, если сравнить вес биомассы роголистника в конце опыта, то видно, что в вариантах, где культивировали рого-

листник с синезелеными водорослями, происходила прибавка в весе роголистника по сравнению с контролем. Это наблюдалось и визуаль-но: за время опыта у роголистника появились новые побеги, длина некоторых из них достигала 5 см.

Не может служить причиной гибели клеток водорослей и величина рН питательной среды. Во всех опытных колбах среда подщелачивалась и конечная величина рН колебалась в пределах 7,9—8,2.



Подавление роста водорослей в культуре с роголистником в кон-центрациях:

1 — 2 г/л + *Anabaena karakumica*; 2 — 6 г/л + *A. karakumica*; 3 — 2 г/л +  
+ *A. robusta*; 4 — 6 г/л + *A. robusta*; 5 — 2 г/л + *Anabaenopsis intermedia*;  
6 — 6 г/л + *A. intermedia*.

Следовательно, остается заключить, что причиной гибели клеток синезеленых водорослей при совместном культивировании их с роголистником являются какие-то вещества, которые выделяет в среду макрофит в процессе жизнедеятельности.

Нами поставлен также опыт по выявлению влияния на водоросли вытяжки из роголистника. Результаты его оказались довольно неожиданными (табл. 3). Если в аналогичных опытах [15] водная вытяжка из роголистника погруженного в разведении 1:880 обладала альгицидной активностью, то, по нашим данным, такая вытяжка даже при разведении 2—8 раз стимулировала рост, развитие и азотфиксирующую способность испытуемых водорослей.

По-видимому, стимулирующее действие вытяжки обусловлено содержанием в ней физиологически активных веществ. В пользу этого предположения говорит тот факт, что стимулирующий эффект вытяжки выше в разведениях. Так, на *A. karakumica* и *A. intermedia* лучше влияла вытяжка в разведении 1:4, а на *A. robusta* — 1:6. Ни в одном из вариантов опыта мы не наблюдали угнетающего влияния вытяжки из роголистника на синезеленые водоросли.

Таблица 2

## Развитие роголистника в совместной культуре с синезелеными водорослями

Варианты опыта	Азот. мг/л среды	Фосфор минераль- ный раст- воренный, мг/л	Накопление биомассы роголистника		Конечный рН среды
			г/л	% к конт- ролю	
2 г/л рогол. + <i>A. karakumica</i>	1,99	—	2,904	133,9	7,8
6 г/л рогол. + <i>A. karakumica</i>	0,80	0,72	7,435	119,9	8,1
2 г/л рогол. + <i>A. robusta</i>	2,97	—	2,500	115,3	7,8
6 г/л рогол. + <i>A. robusta</i>	1,42	0,42	7,370	118,8	7,9
2 г/л рогол. + <i>A. intermedia</i>	2,60	—	2,625	121,0	8,0
6 г/л рогол. + <i>A. intermedia</i>	1,10	0,60	7,290	117,5	8,2
Контроль:					
<i>A. karakumica</i> без растений	18,54	0,48	—	—	8,2
<i>A. robusta</i> без растений	22,52	0,43	—	—	8,0
<i>A. intermedia</i> без растений	19,46	0,69	—	—	8,2
2 г/л рогол. без водорослей	0,41	—	2,168	100,0	7,6
6 г/л рогол. без водорослей	1,22	—	6,200	100,0	7,8

Примечание. «—» означает, что анализы не проводились.

Таблица 3

## Влияние водных вытяжек из роголистника на развитие синезеленых водорослей (продолжительность опыта 30 дней)

Варианты опыта	Биомасса водорослей, мг/100 мл среды	Фиксировано азота, мг/100 мл среды	% прибавки
<i>A. robusta</i> (контроль)	69	4,42	100,0
„ „ +вытяжка без растений	65	4,20	—
„ „ +вытяжка 1:2	78	5,65	127,8
„ „ +вытяжка 1:4	106	8,24	186,4
„ „ +вытяжка 1:6	75	5,12	115,8
„ „ +вытяжка 1:8	67	4,34	—
<i>A. karakumica</i> (контроль)	40	2,85	100,0
„ „ +вытяжка без растений	42	2,78	—
„ „ +вытяжка 1:2	62	3,88	136,1
„ „ +вытяжка 1:4	65	3,86	135,4
„ „ +вытяжка 1:6	88	5,60	196,4
„ „ +вытяжка 1:8	46	2,59	—
<i>Anabaenopsis intermedia</i> (контроль)	45	2,50	100,0
„ „ +вытяжка без растений	52	2,64	105,6
„ „ +вытяжка 1:2	58	2,69	107,6
„ „ +вытяжка 1:4	72	3,95	158,0
„ „ +вытяжка 1:6	40	2,23	—
„ „ +вытяжка 1:8	43	2,36	—

Убедительность и категоричность полученных нами данных об альгицидном действии роголистника на синезеленые водоросли при совместном их выращивании позволяет надеяться, что подобные работы в случае дальнейшего их развития и проверки в условиях небольших водоемов (прудов) могут послужить хорошей базой для разработки биологических мер, предотвращающих чрезмерное развитие водорослей

в водоемах. В литературе нам не удалось найти указаний на другие виды макрофитов, действие которых на водоросли было бы столь же эффективным. Правда, в упомянутой работе К. А. Гусевой и С. П. Гончаровой [4] указывается, что при совместном произрастании *Spirodella pulyrhiza* (из рясок) с *Anabaena scheremetievi* последняя полностью погибала. Однако авторы считают, что причиной этого явилось понижение рН среды. В той же работе констатируется, что уруть колосистая (*Mriophyllum spicatum*) оказывала явно угнетающее действие на *A. scheremetievi*.

### Выводы

1. Показано сильное альгицидное действие водного цветкового растения — роголистника погруженного — на синезеленые водоросли (*Anabaena karakumica*, *A. robusta* и *Anabaenopsis intermedia*) при совместном их культивировании. Водоросли при этом полностью погибали, что следует отнести за счет прижизненных выделений макрофита.

2. Водная вытяжка из роголистника оказывала стимулирующее действие на указанные водоросли.

3. При совместном произрастании с синезелеными азотфиксирующими водорослями роголистник способен использовать накапливаемый ими азот.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гасилина М. М. 1961. Биологически активные вещества, выделяемые водными растениями, как фактор самоочищения водоемов. В кн.: «Первичн. прод. морей и внутр. вод», Минск.
2. Губина Г. С. 1971. Фитопланктон кубанских лиманов. Автореф. дисс., К.
3. Гуревич Ф. А. 1949. Материалы о фитонцидах водных и прибрежных растений. Автореф. дисс.
4. Гусева К. А., Гончарова С. П. 1965. О влиянии высшей водной растительности на развитие планктонных синезеленых водорослей. В кн.: «Экол. и физиол. синезелен. водор.», изд-во «Наука», М.—Л.
5. Коган Ш. И. 1955. Зарастание водоемов р. Мургаба. «Тр. Мургабск. гидробиол. ст.», 3, Изд-во АН ТССР, Ашхабад.
6. Его же. 1959. Материалы по альгофлоре озер Западного Узбоя. «Изв. АН ТССР», 1.
7. Его же. 1962. Растительность водоемов Туркменской ССР. «Тр. Ин-та ботаники АН ТССР», 7, Ашхабад.
8. Его же. 1965. Синезеленые водоросли в водоемах Туркменской ССР. В кн.: «Экол. и физиол. синезел. водор.», изд-во «Наука», М.—Л.
9. Его же. 1967. Новые виды планктонных синезеленых родов *Anabaena*, *Anabaenopsis* и *Raphidiopsis* из Каракумского канала (Туркменская ССР). В кн.: «Новости систем. низш. раст.», изд-во «Наука», Л.
10. Коган Ш. И., Язкулиева В. Е. 1970. Новые виды азотфиксирующих синезеленых водорослей из водоемов Туркменской ССР. «Изв. АН ТССР», 5.
11. Кокин К. А. 1961. О значении погруженных макрофитов как агентов самоочищения р. Москвы. Бюлл. МОИП. 46, отд. биол., Б.
12. Кондратьева Н. В. 1952. Синезеленые водоросли водоемов замедленного стока правобережного Украинского Полесья. Автореф. дисс., К.
13. Круглова В. М. 1952. О фитонцидах водных растений. В сб.: «Фитонц., их роль в природе и знач. для мед.», М.
14. Кутова Т. Н. 1968. О соотношении развития высших водных растений и фитопланктона в оз. Пестово. Изв. ГосНИОРХ, 67, М.
15. Неграш А. К., Бондаренко А. С. 1965. Альгицидная активность водных и прибрежных растений в отношении культуры синезеленой водоросли *Anabaena flos-aquae*. В кн.: «Экол. и физиол. синезел. водор.», изд-во «Наука», М.—Л.
16. Таха М. С. 1963. Влияние концентрации различных компонентов среды на рост и азотфиксацию синезеленых водорослей. «Микробиология», 32, 4.
17. Флора СССР. 1937. 7.
18. Embury G. C. 1928. Principles of pond fertilization. «Trans. Amer. Fish. Soc.», 58.
19. Bennett G. W. 1942. Management of small artificial lakes. «Bull. Ill. Nat. Hist. Survey», 22.

20. Gessner F. 1955. Hydrobotanik. 1, Berlin.
21. Hasler A. D. a. Jones E. 1949. Demonstration of the antagonistic action of large aquatic plants on algae and rotifers. «Ecology», 30, 3.
22. Wiebe A. H. 1934. Nocturnal depressions in the dissolved oxygen in fish-ponds with special reference to an excess of coarse vegetation and of fertilizers. «Trans. Amer. Fish. Soc.», 64.

Поступила 5. IV 1971 г.

## ON THE RELATIONS BETWEEN *CERATOPHYLLUM* *DEMERSUM* L. AND SOME BLUE-GREEN ALGAE

S. I. KOGAN, G. A. CHINNOVA

(Institute of Botany, Academy of Sciences Turkmenian SSR, Ashkhabad)

### Summary

An attempt of joint growing of *Ceratophyllum demersum* L. with nitrogen fixing blue-green algae *Anabaena karakumica* Kog., *A. robusta* Kog. et Jaz. and *Anabaenopsis intermedia* Kog. showed the strong algicidal effect of the metabolic excretions of the macrophyte. The presence of trophic competition between the algae and macrophyte is impossible: a lot of nitrogen and phosphorus have remained in the cultural solution after the algae extinction. The water extract of the fresh macrophyte tissue affected the algae in stimulating way. The macrophyte developed well in the glasses with the algae culture, and used the fixed nitrogen. Thus, the cause of algae depression may depend only on metabolic excretion of *C. demersum*.