

Н. С. ХАРКЕВИЧ

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О ВЛИЯНИИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА РАЗВИТИЕ ФИТОПЛАНКТОНА

В Карельской АССР имеется огромное число озер и рек, богатых гуминовыми веществами и малопродуктивных. В связи с этим потребовалось изучение условий, отрицательно влияющих на развитие жизни в этих водах с тем, чтобы в будущем выработать эффективные меры по повышению их продуктивности.

Нами были проведены исследования условий развития фитопланктона как первичной продукции в некоторых малых водоемах (ламбах), богатых гуминовыми веществами.

Исследования показали, что такие факторы, как температура, общая минерализация и содержание главнейших ионов солевого состава, активная реакция воды, газовый режим, а также концентрация гуминовых веществ сказываются на качественном составе фитопланктона ламб. Свет ограничивает распространение фитопланктона в глубинные слои. Низкие же количественные показатели развития руководящих форм связаны с недостатком биогенных элементов, в частности — фосфатов. Из наблюдений в природе наметилось, что гуминовые вещества в наиболее распространенных концентрациях не оказывают прямого отрицательного воздействия на количественное развитие фитопланктона, хотя косвенное отрицательное влияние, вследствие способности к прочной адсорбционной связи с питательными веществами (фосфором), очевидно.

В связи с проводимыми в природе исследованиями для подтверждения и уточнения отдельных выводов были произведены некоторые эксперименты.

Задача экспериментальных работ состояла, во-первых, в выяснении влияния растворенных в воде гуминовых веществ и степени гумификации вод на развитие фитопланктона; во-вторых, в выявлении того, какую роль играет добавление некоторых питательных солей в эти воды.

Опыты проводились не с чистыми препаратами гуминовых кислот и фульвокислот, а со всем растворимым в воде комплексом природных гуминовых веществ. Для этого использовалась как вода ламб с высокой степенью гумификации, так и настой воды на торфе. Всего проведено 5 опытов.

Специально с целью выяснения влияния гуминовых веществ и степени гумификации на интенсивность развития фитопланктона было поставлено три опыта; в четвертом опыте изучалась как роль гуминовых веществ, так и эффективность внесения питательных солей

Результаты анализа воды

№ аквариума	Время опыта	Цветность (в градусах)	Окисляемость перманганатная (мг/л O_2)	Окисляемость бихроматная (мг/л O_2)	pH	O_2 (мг/л)
1	Начало опыта	112°	10,4	21,6	7,35	—
	Конец опыта	—	11,3	—	7,40	6,64
2	Начало опыта	140°	15,4	22,9	7,20	—
	Конец опыта	—	16,4	—	7,20	7,23
3	Начало опыта	268°	27,8	50,8	6,90	—
	Конец опыта	—	22,4	—	7,13	7,85
Исходная кончезерская вода		10°	4,7	—	7,50	—
Вода, настоянная на торфе		640°	56,6	—	3,0	—

и известкования и, наконец, пятый опыт был посвящен только последнему вопросу.

Опыт № 1. Вода олиготрофного Кончезера настаивалась на почве, состоящей в основном из торфа прибрежного участка сильно гумифицированной ламбы (табл. 1). Настой фильтровался через промытый бумажный фильтр и затем в различных пропорциях смешивался с исходной кончезерской водой. Таким образом, был получен ряд аквариумов с возрастающим содержанием гуминовых веществ в воде (табл. 1) ¹.

Как видно из табл. 1, настой кончезерской воды на торфе содержал высокие концентрации нитратов, аммонийного азота и фосфатов. Поэтому параллельно повышению степени гумификации воды в аквариумах возрастали концентрации азота и фосфора. pH воды аквариумов был близок к нейтральному с небольшим отклонением в щелочную сторону в аквариумах 1 и 2. Соответственно содержание гидрокарбонатов было несколько выше в аквариуме первом и постепенно снижалось в последующих. Железо находилось в пределах 0,05—0,10 мг/л, повышаясь от аквариума с более низкой гумификацией к аквариуму с более высокой гумификацией.

Аквариумы, содержащие по два литра воды каждый, были заселены одинаковым количеством фитопланктона: 1.800 тыс. водорослей (клеток) на аквариум. Качественный состав планктона и его количественная характеристика в различных аквариумах даны в табл. 2.

Аквариумы стояли в течение 22 суток при восточном освещении; температура воды колебалась в пределах 16—22°. Периодически вода

¹ О количестве гуминовых веществ судим по косвенным показателям: цветности воды, перманганатной и бихроматной окисляемостям.

Таблица 1

в аквариумах опыта № 1

O ₂ (%)	HCO ₃ ¹ (мг/л)	Fe общее (мг/л)	NH ₄ ⁻ (мг/л)	NO ₂ ¹ (мг/л)	NO ₃ ¹ (мг/л)	P (мг/л)
—	14,3	0,05	0,25	нет	0,10	0,084
72	—	следы	—	нет	едва уловимые следы	0,012
—	—	0,06	0,25	нет	0,25	0,117
79	—	0,03	—	нет	едва уловимые следы	0,023
—	8,2	0,12	0,50	нет	0,35	0,279
85	—	0,12	—	нет	0,075	0,227
—	46,4	0,04	—	нет	0,01	0,005
—	практически нет	—	1,0	—	1,00	0,80

аквариумов взбалтывалась стеклянной палочкой с целью предупреждения образования бактериальной пленки и для аэрации.

Перед снятием опыта в воде аквариумов определялась концентрация O₂ и pH. Затем содержимое аквариумов фильтровалось через планктонную сеть из газа № 77 для сбора фитопланктона, а фильтрованная вода анализировалась (табл. 1).

Количественный учет фитопланктона показал (табл. 2), что максимальный его прирост падает на наиболее гумифицированный и богатый биогенными элементами аквариум № 3, превышая первоначально введенное в аквариум количество клеток планктона в 16 раз. Во втором аквариуме количество клеток возросло в 14 раз и в наименее гумифицированном и более бедном биогенами аквариуме № 1 — только в 5,5 раза. Соответственно этому содержание кислорода также возрастало от аквариума с меньшей гумификацией к более гумифицированному. В последнем значительно больше возрос и pH.

Более низкая продуктивность фитопланктона в аквариумах № 1 и № 2, по-видимому, связана с недостатком в них азота, а в первом, кроме того, и железа (табл. 1).

Вывод из данного опыта: гуминовые вещества во взятых нами концентрациях при наличии достаточного количества биогенных элементов не препятствуют развитию фитопланктона.

Опыт № 2. Методика постановки опыта та же. Вода очень слабо гумифицированной Глухой лампы (цветность 10—15°, перманганатная окисляемость около 5,0 мг/л O₂), характеризующаяся низким pH (5,70), очень слабой минерализацией (9,0 мг/л) и бедностью питательными солями, смешивалась в различных пропорциях с водой из небольшой ямы, вырытой в торфянике прибрежной зоны Крюкламбы. Вода торфя-

ника имела цветность 890—900°, перманганатную окисляемость около 130,0 мг/л O_2 , содержала до 0,2 мг/л Р, следы нитратов, железа 0,56 мг/л, NH_4 — 1,0 мг/л.

Как видно из табл. 3, аквариумы резко различались по содержанию гуминовых веществ в воде, по другим же показателям были близкими.

Аквариумы были заселены фитопланктоном из гумифицированного водоема (Крюккламбы), рН воды в аквариумах был подогнан к рН Крюккламбы (5,80—5,90)¹.

В составе планктона определено около 35 видов, распределяющихся по группам в следующих количествах: диатомовых — 13 видов, зеленых — 18 (из них протококковых — 7, десмидиевых — 8, прочих — 3), разнотелковых — 1, сине-зеленых — 4 вида. Руководящими формами были *Gloeocapsa minima*, *Dictyosphaerium Ehrenbergianum*, *Mougeotia* sp., а также диатомовые: *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata* v. *intermedia*, *T. fenestrata* v. *asterionelloides*, *Asterionella gracillima*.

Через 30 суток наименьшее развитие водорослей, как по общему количеству клеток, так и по систематическим группам, оказалось в аквариуме № 1 с наименьшим содержанием гуминовых веществ (рис. 1). В аквариуме № 2 развитие их было несколько выше. Наивысшее развитие водорослей имело место в аквариуме № 3, содержащем количество гуминовых веществ, наиболее близкое к тому, при котором водоросли жили в естественных условиях до поселения их в аквариумы.

В последующих аквариумах общее количество клеток водорослей несколько ниже, чем в аквариуме № 3, но значительно превышает то их количество, которое оказалось в аквариумах № 1 и № 2.

Рассматривая качественный состав водорослей аквариумов, следует сказать, что сине-зеленые дают максимум во втором аквариуме, в последующих же аквариумах развитие их более низкое и идет на одном уровне. Зеленые водоросли наибольшее развитие дают в аквариуме № 3. Развитие диатомовых постепенно повышается от аквариума

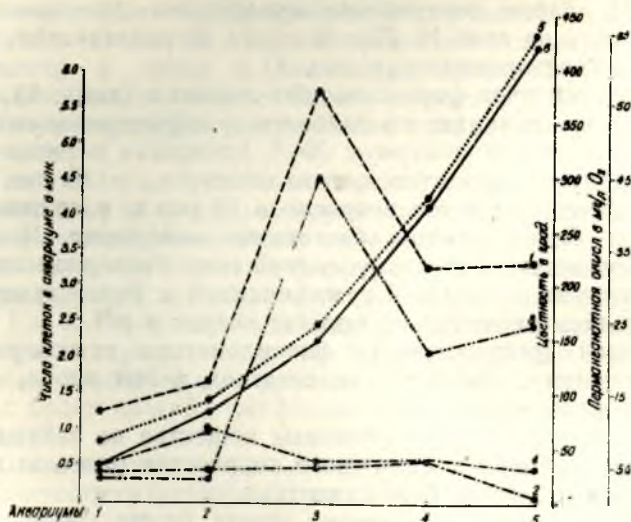


Рис. 1. Общее количество клеток фитопланктона (1), количество диатомовых (2), зеленых (3), сине-зеленых (4), цветность (5), перманганатная окисляемость (6) в аквариумах опыта № 2

¹ Для подгонки рН применялся 0,1N раствор Na_2CO_3 и р — р H_2SO_4 (1:100).

Таблица 2

Качественный и количественный состав
фитопланктона аквариумов (опыт № 1)

	Количество клеток в начале опыта (в тыс.)	Количество клеток в конце опыта (в тыс.)		
		аквариум 1	аквариум 2	аквариум 3
<i>Fragilaria capucina</i>	1486,2	9693,0	10732,0	18918,0
" <i>sp.</i>	19,5	326,5	4,8	181,0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	4,0	2,0	33,5	87,0
" " <i>v. asterionelloides</i>	5,8	1,5	47,5	102,0
" " <i>flocculosa</i>	7,2	1,0	3,0	—
<i>Melosira islandica</i>	0,7	9,5	—	15,0
" " <i>varians</i>	+	7,0	—	—
<i>Asterionella formosa</i>	0,9	0,5	3,5	26,0
Прочие	+	1,5	17,0	247,0
Итого диатомовых:	1524,3	12982,5	10841,3	19576,0
<i>Microcystis aeruginosa</i>	165,0	—	15048,5	9181,0
" " <i>pulverea</i>	9,0	—	—	1446,0
<i>Woronichinia Naegeliana</i>	58,6	—	—	—
<i>Gloeocapsa sp.</i>	+	—	13,0	28,0
Итого сине-зеленых	232,6	—	15061,5	10655,0
<i>Eudorina elegans</i>	+	—	—	68,0
<i>Pandorina morum</i>	+	—	—	68,0
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	+	—	—	8,0
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	+	—	—	64,0
<i>Pediastrum duplex</i>	+	—	0,5	1,0
" " <i>Boryanum</i>	+	—	1,0	1,0
<i>Gloeococcus Schröeteri</i>	+	—	129,5	0,3
<i>Mallomonas caudata</i> (из золотистых)	+	—	1,5	—
Итого зеленых и золотистых	+	—	132,5	2,0,3
Общее количество клеток в каждом аквариуме	1800	12982,5	26035,3	30441,3

с меньшей гумификацией к аквариуму более гумифицированному, с максимумом в аквариуме № 4.

Таким образом, главным выводом из опыта № 2 можно считать следующий: при сходных прочих физических и химических условиях гуминовые вещества не только не препятствуют развитию фитопланктона, живущего в естественных условиях при известном количестве гуминовых веществ, но до некоторой степени являются необходимым условием для его развития. Однако в содержании гуминовых веществ, равно как и других гидрохимических показателей, должен быть какой-то оптимум, выше которого присутствие их является уже менее благоприятным. Так, в данном опыте для сине-зеленых водорослей верхний предел концентраций гуминовых веществ ниже, чем для зеленых, а для последних — ниже, чем для диатомовых.

Результаты химического анализа воды и подсчета фитопланктона
в аквариумах опыта № 2

№ аквариума	Время опыта	Цветность (в градусах)	Окисляемость перманганатная (мг/лO ₂)	Окисляемость бихроматная (мг/лO ₂)	pH	O ₂ (мг/л)	CO ₂ (мг/л)	HCO ₃ ¹ (мг/л)	Fe (мг/л)	NH ₄ ¹ (мг/л)	NO ₃ ¹ (мг/л)	P (мг/л)	Количество клеток фитопланктона в 1 литре	Руководящие формы
1	Начало опыта	33	8,7	21,6	5,80	—	4,4	3,76	0,06	0,25	0,012	0,079	—	Tabellaria flocculosa, T. fenestrata v. intermedia, Nitzschia palea, Mougeotia sp.
	Конец опыта	37	8,7	—	6,35	9,21	4,0	8,08	0,04	1,0	следы	следы	316 000	
2	Начало опыта	75	13,9	29,9	5,95	—	4,2	4,43	0,08	0,5	0,012	0,085	—	Gloeocapsa minima Dictyosphaerium Ehrenbergianum
	Конец опыта	65	14,1	32,2	6,30	9,30	4,9	10,23	0,06	—	нет	нет	447 429	
3	Начало опыта	150	25,3	46,5	6,00	—	3,6	3,51	0,12	0,5	следы	0,040	—	Dictyosphaerium, Ehrenbergianum, Asterionella gracillima, Desmidium cylindricum
	Конец опыта	125	24,0	41,3	6,30	8,90	4,8	8,39	0,06	2,0	нет	0,020	1 604 285	
4	Начало опыта	275	41,7	70,8	5,90	—	6,9	8,51	0,14	0,5	следы	0,048	—	Asterionella gracillima, Merismopedia sp. Microspora sp.
	Конец опыта	235	—	—	6,10	8,39	5,7	12,68	0,14	3,0	нет	0,018	852 857	
5	Начало опыта	420	65,2	114,4	5,60	—	9,7	5,96	0,28	—	следы	0,100	—	
	Конец опыта	415	69,6	114,4	6,00	6,99	7,9	9,00	0,28	3,0	нет	0,050	918 571	

Опыт № 3. Первый и второй опыты проводились с фитопланктоном, живущим в естественных условиях при некотором содержании гуминовых веществ. Нам представлялось интересным выяснить влияние гуминовых веществ на развитие фитопланктона, живущего в естественных условиях при ничтожном содержании гуминовых веществ. С этой целью и был поставлен опыт № 3.

Олиготрофная вода Пертозерского пролива (цветность 10° , окисляемость перманганатная 5 мг/л O_2 , окисляемость бихроматная 16 мг/л O_2 , $\text{pH} = 7,40$, HCO_3^- — $36,4 \text{ мг/л}$, NH_4^+ — $0,1 \text{ мг/л}$, железа $0,04 \text{ мг/л}$) смешивалась в разных пропорциях с сильно гумифицированным настоем на торфяной массе (цветность 500° , $\text{pH} = 4,0$, NO_3^- — $0,1 \text{ мг/л}$, $\text{P} = 0,2 \text{ мг/л}$).

Аквариум № 1 заполнялся только водой Пертозерского пролива (цветность 10°), в воде каждого последующего аквариума содержание гуминовых веществ повышалось примерно вдвое (цветность— 80 , 160 , 270°). С увеличением концентрации органических веществ несколько возрастало содержание железа. По другим гидрохимическим показателям аквариумы почти не отличались. pH воды всех аквариумов был

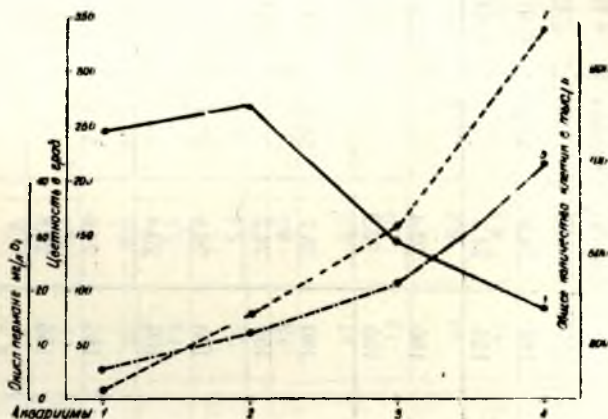


Рис. 2. Влияние гуминовых веществ на развитие фитопланктона, живущего в естественных условиях при малом их содержании.

1. Общее количество клеток водорослей в аквариуме. 2. Цветность.
3. Перманганатная окисляемость

приравнен к pH исходной (пертозерской) воды. Для того, чтобы исключить такой фактор, как недостаток питательных солей, во все аквариумы были добавлены фосфаты (по $0,5 \text{ мг/л P}$) и нитраты (по $0,5 \text{ мг/л NO}_3^-$). И те и другие к концу опытного периода целиком не были использованы.

Аквариумы заполнялись фитопланктоном из Пертозерского пролива. В составе фитопланктона преобладали диатомовые. Опыт стоял в течение 28 суток при северном освещении. Температура колебалась в пределах $13-20^\circ$.

Как видно из рис. 2, наиболее богат количественно и качественно фитопланктон аквариума № 2 (цветность воды 80° , перм. окисл. $12,1 \text{ мг/л O}_2$). На втором месте оказался аквариум № 1 (цветность 10° , перманганатная окисляемость $5,0 \text{ мг/л O}_2$). Однако такие водоросли, как

Таблица 4

Данные анализа воды аквариумов опыта № 4

№ аквариума	Схема изменения состава воды	Время опыта	Цветность в градусах	Окисляемость (мг/л O ₂)		pH	O ₂ (мг/л)	CO ₂ (мг/л)	HCO ₃ ¹ (мг/л)	P (мг/л)	NO ₃ ¹ (мг/л)
				перманганатная	бихроматная						
1	Вода Крюкламбы (контроль)	Начало опыта	170	24,9	47,9	6,40	—	5,3	4,5	0,019	0,030
		Конец опыта	155	24,3	—	6,60	10,49	5,4	7,3	0,013	0,025
2	Вода Крюкламбы + KН ₂ РO ₄ (0,5 мг/л Р)	Начало опыта	160	25,4	—	6,20	—	6,0	4,5	0,465	следы
		Конец опыта	155	26,2	—	6,60	8,76	4,4	4,0	0,400	следы
3	Вода Крюкламбы + KН ₂ РO ₄ (0,5 мг/л Р) + KNO ₃ (0,485 мг/л NO ₃ ¹)	Начало опыта	180	25,7	54,8	6,40	—	7,0	5,1	0,475	0,50
		Конец опыта	155	24,2	—	6,65	8,24	6,1	3,7	0,400	0,50
4	Вода Крюкламбы + Са(ОН) ₂	Начало опыта	180	24,9	47,9	7,60	—	5,3	20,8	0,019	следы
		Конец опыта	160	23,4	—	7,25	8,62	6,1	25,7	0,011	0,025
5	Вода Крюкламбы + Na ₂ CO ₃	Начало опыта	185	24,9	51,7	7,60	—	5,3	23,1	0,018	следы
		Конец опыта	155	23,8	—	7,30	8,67	4,7	29,4	0,011	0,03
6	Вода Крюкламбы + СаСО ₃ (до насыщения)	Начало опыта	185	23,7	47,9	7,65	—	7,4	38,9	0,016	следы
		Конец опыта	170	24,5	—	7,55	—	5,0	53,3	0,013	следы
7	Вода Крюкламбы + СаСО ₃ (до насыщения) + KН ₂ РO ₄ (0,35 мг/л Р) + KNO ₃ (0,5 мг/л NO ₃ ¹)	Начало опыта	175	29,4	56,7	7,60	—	4,2	38,9	0,470	0,40
		Конец опыта	160	22,6	—	7,65	9,24	3,2	53,3	0,302	следы

8	Вода Крюкламбы + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + KH_2PO_4 (0,5 мг/лР) + KNO_3 (0,5 мг/л NO_3)	Начало опыта	175	25,9	—	7,60	—	4,9	18,0	0,460	0,40
		Конец опыта	155	21,8	—	7,15	8,71	5,3	19,0	0,323	0,04
9	Вода Крюкламбы, освобожденная от гуминовых веществ, подщелоченная NaOH^1	Начало опыта	24	11,5	—	7,60	—	3,9	14,3	0,011	следы
		Конец опыта	17	9,3	—	7,30	9,66	3,2	34,2	0,006	0,08
10	Вода Крюкламбы, освобожденная от гуминовых веществ, подщелоченная NaOH^1	Начало опыта	24	6,0	17,2	6,40	—	8,4	3,2	0,010	0,025
		Конец опыта	12	5,1	—	6,70	9,46	2,8	4,3	0,006	0,025
11	Вода Крюкламбы, освобожденная от гуминовых веществ, подщелоченная Na_2CO_3^1	Начало опыта	22	5,3	16,4	6,40	—	7,4	39,8	0,011	следы
		Конец опыта	15	4,8	—	7,40	—	2,8	21,4	0,006	0,05
12	Вода Крюкламбы, освобожденная от гуминовых веществ, подщелоченная $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{KNO}_3$ (0,5 мг/л NO_3)	Начало опыта	17	6,3	—	6,50	—	3,9	51,1	0,009	0,40
		Конец опыта	12	4,9	—	7,40	8,86	3,3	30,0	0,007	0,35
13	Вода Крюкламбы, освобожденная от гуминовых веществ, подщелоченная $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{KH}_2\text{PO}_4$ (0,5 мг/лР)	Начало опыта	49	6,4	26,1	6,40	—	4,6	32,7	0,319	следы
		Конец опыта	15	6,3	—	7,55	9,61	2,5	31,8	0,018	0,025
14	Вода Крюкламбы, освобожденная от гуминовых веществ, подщелоченная $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{KNO}_3$ (0,5 мг/л NO_3) + KH_2PO_4 (0,5 мг/лР)	Начало опыта	24	14,0	19,5	6,40	—	4,9	52,5	0,340	0,40
		Конец опыта	12	4,7	—	7,55	9,47	1,8	28,7	0,006	0,025
15	Вода Крюкламбы, освобожденная от гуминовых веществ, подщелоченная $\text{NaOH} + \text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{KNO}_3$	Начало опыта	24	4,8	18,0	6,40	—	6,7	10,6	0,500	—
		Конец опыта	17	5,9	—	6,60	9,19	3,0	3,7	0,050	0,30

¹ NaOH и Na_2CO_3 применялись для подщелачивания при коагуляции и последующего повышения pH.

Pediastrum Boryanum, *Ceratium hirundinella* были представлены только в аквариуме № 1. По развитию водорослей аквариум № 3 уступает аквариуму № 1, а в аквариуме № 4 оно еще ниже, чем в третьем аквариуме.

Из данного опыта можно сделать такой вывод: при прочих близких условиях увеличение содержания гуминовых веществ в воде не только не тормозит развитие фитопланктона, живущего в естественных условиях при очень малом содержании гуминовых веществ, а даже оказывает на него стимулирующее действие. Однако предел их стимулирующих концентраций много ниже, чем для водорослей, живущих в естественных условиях при значительном содержании гуминовых веществ.

Таким образом, некоторый подток гуминовых вод в олиготрофный водоем может, по-видимому, благоприятно сказываться на развитии фитопланктона. Однако, данный вопрос еще требует дальнейших исследований.

О стимулирующем влиянии гуминовых кислот и фульвокислот на высшие растения говорится в ряде работ агробиологов (Прозоровская, 1936; Христева, 1947, 1948, 1949; Кононова и Панкова, 1950).

То, что гуминовые вещества (в определенных концентрациях) не оказывают прямого отрицательного действия на развитие фитопланктона, показал и опыт № 4. Основной целью этого опыта было выяснить эффект в развитии фитопланктона от внесения в воду, богатую гуминовыми веществами, некоторых питательных солей и от подщелачивания ее. Для сравнения параллельно вносились питательные соли в ту же воду, освобожденную от гуминовых веществ, путем коагуляции их сернокислым алюминием и последующим удалением. Таким образом, попутно выяснялась и роль гуминовых веществ.

Для опыта бралась вода гумусной ламбы — Крюкламбы — с цветностью 170°, перманганатной окисляемостью 24,9 мг/л O_2 и бихроматной окисляемостью 47,9 мг/л O_2 .

Один аквариум оставался в качестве контрольного с неизменной водой, в остальных 14 аквариумах химический состав воды изменялся по схеме, представленной в табл. 4.

Как видно из этой таблицы, из аквариумов с водой, освобожденной от гуминовых веществ, три аквариума (№ 9, 10 и 11) различались между собой незначительно. В аквариумах № 9 и 10 вода при коагуляции подщелачивалась 1N раствором NaOH и им же затем в аквариуме № 9 pH доведен до 7,60, а в аквариуме № 10 — до 6,40. В аквариуме № 11 вода подщелачивалась раствором Na_2CO_3 . Применением двух реактивов (NaOH и Na_2CO_3) для подщелачивания имелось в виду проследить, не имеет ли каждый из них каких-либо преимуществ в смысле стимуляции развития фитопланктона. Выделением аквариума № 9 с более высоким pH также предусматривалось выяснить, какова роль более высокого pH и сопутствующего ему большего количества гидрокарбонатов. Эти три аквариума, различаясь между собой в вышесказанном, были контрольными для последующих аквариумов с водой, освобожденной от гуминовых веществ, а также для аквариума № 1, составляя полную противоположность последнему по содержанию органических веществ. В другие аквариумы как с гумифицированной водой, так и с водой, освобожденной от гуминовых веществ, добавлялись питательные соли (фосфаты, нитраты), в одни с последующим подщелачиванием, в другие — без подщелачивания; в отдельных аквариумах вода только подщелачивалась (вводился $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$ или Na_2CO_3).

После подготовки аквариумов по указанной схеме они заселялись фитопланктоном, собранным из Петрозаводской губы Онежского озера.¹ Следует отметить, что в момент сбора планктона наблюдалось сильное волнение, поэтому в планктоне сказалось большое количество форм из обростаний. Последнее обстоятельство в дальнейшем осложнило работу по количественному учету фитопланктона аквариумов. Опыт стоял 45 суток при температуре 17—22°.

Результаты химического анализа воды в начале опытного периода и в конце его представлены в табл. 4. Степень развития водорослей в опытных аквариумах показана на рис. 3.

В связи с наличием в планктоне аквариумов большого количества форм из обростаний (гл. образом нитчатых)², затрудняющих надежный учет планктона счетным методом, нами для большей достоверности был произведен также учет сырых объемов планктона каждого аквариума. Измерение сырых объемов производилось в обычной химической бюретке на 50 мл с делениями через 0,1 мл, запаянной снизу у начала градуировки. Для удобства заполнения бюретки на ее верхнем конце сделано воронкообразное расширение. Планктон отстаивался в течение суток.

Результаты опыта в свете поставленных задач следующие.

Группа аквариумов — 9, 10, 11 (рис. 3) показывает, что в воде, где содержание гуминовых веществ путем коагуляции и осаждения сведено до незначительных количеств (цветность 17—24°, перманганатная окисляемость 5—10 мг/л O_2) и вместе с тем содержание фосфатов и нитратов по сравнению с контролем снизилось, развитие идет намного хуже, чем в контрольном аквариуме с гумифицированной водой Крюкламбы. Даже в аквариуме № 9, где вода имела слабо щелочную реакцию ($pH=7,60$) и более высокое содержание гидрокарбонатов (34,2 мг/л), развитие водорослей оказалось низким. Представлены главным образом зеленые и диатомовые. Сине-зеленые почти не получили развития.

Реактивы $NaOH$ и Na_2CO_3 , применяемые для подщелачивания, никаких преимуществ один перед другим, в смысле стимулирования развития водорослей, не показали.

В аквариумах с добавлением питательных солей развитие оказалось различным. Так, в аквариуме с гумифицированной водой, в который был добавлен фосфор (№ 2), численность клеток возросла в 3 с лишним раза, а сырой объем — в 2 раза по сравнению с контролем (рис. 3).

Интересно отметить, что в аквариуме с добавлением фосфора довольно хорошо развивались все основные представители, встреченные в контроле, так что здесь можно говорить о большом разнообразии форм при более значительном их количественном развитии по сравнению с контролем. Однако основной прирост продукции произошел за счет развития диатомовых *Fragilaria capucina*, *Fr. virescens*, *Nitzschia palea*, а из зеленых — за счет развития *Mougeotia* sp. и *Scenedesmus quadricauda*. Большое развитие также дали сине-зеленые (*Osillatoria*).

Параллельно поставленные аквариумы с водой, из которой были удалены гуминовые вещества, показали, что добавление фосфора дает лучший количественный эффект. По сырому объему планктона в аквариуме № 13 развитие водорослей в 3,7 раза выше, чем в контрольном аквариуме и в два раза выше, чем в аквариуме № 2, в воду которого, при

¹ Вода для аквариумов (по 2,5 литра), как и в других опытах, перед заполнением была профильтрована через газ № 77 с целью освобождения от фитопланктона, развивающегося в ней.

² Нитчатые при подсчете измерялись при помощи окуляр-микрометра, с последующим пересчетом на клетки.

наличии в ней гуминовых веществ, добавлен фосфор. Но в отличие от контроля и аквариума № 2, в аквариуме № 13 отмечается обеднение качественное. Ряд видов не развивается вовсе. Некоторые представлены меньшим количеством клеток, чем в контроле, и весь прирост произошел за счет нитчатых водорослей из рр. *Spirogyra* и *Oedogonium*.

При совместном добавлении фосфора и азота (в форме NO_3^-) в аквариумах с гумифицированной водой количественное развитие несколько ниже, чем в аквариуме, содержащем воду только с добавлением фосфора, а в аквариумах с водой, освобожденной от гуминовых веществ (№ 14 и 15) примерно такое же, как и при добавлении только фосфора. В аквариуме № 14, по сравнению с другими аквариумами, несколько большее развитие получили *Pediastrum Boryanum*, *Eudorina elegans*.

Таким образом, нитратный азот при добавлении его совместно с фосфатами заметного стимулирования развития водорослей не производит. Добавление же только нитратов, которое испытывалось нами на воде,

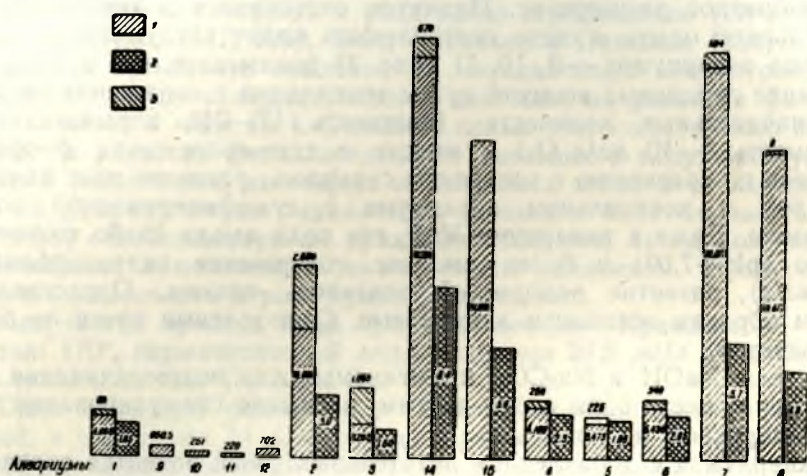


Рис. 3. Интенсивность развития водорослей в аквариумах опыта № 4.

1. Общее количество клеток водорослей в тыс. 2. Объем сырого планктона в см³. 3. Количество нитей сине-зеленых в тыс. Химический анализ воды аквариумов см. в таб. 4.

освобожденной от гуминовых веществ, положительного эффекта не дало. Развитие было таким же низким, как и в аквариумах с водой, освобожденной от гуминовых веществ без добавления веществ питательных.

В последующей группе аквариумов, где производилось исследование влияния подщелачивания гумифицированной воды Крюклямы на развитие фитопланктона, а также определение эффективности подщелачивания при одновременном добавлении фосфата и нитратного азота, результаты оказались следующие.

В аквариумах № 4, 5, 6, pH воды которых было доведено до 7,60 (аквариум № 4 подщелачивался $\text{Ca}(\text{OH})_2$, № 5 — Na_2CO_3 , № 6 — CaCO_3), что естественно сопровождалось некоторым увеличением в ее содержании гидрокарбонатов и кальция (аквариумы 4, 6), сырой объем планктона немного выше, чем в контрольном аквариуме (рис. 3). Однако подсчет общего количества клеток в этих аквариумах разницы по сравнению с контролем не дает (рис. 3). Можно только говорить о более высоком развитии сине-зеленых водорослей, да о небольшом перевесе

в аквариумах № 4 и 6 (подщелачивались $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3) диатомовых. Зеленые водоросли, наоборот, во всех трех аквариумах дали несколько меньшее развитие, чем в контрольном. Качественный состав водорослей по своему разнообразию почти тождественен контрольному.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что одно подщелачивание среды не дает значительного повышения развития водорослей.

Совсем другая картина наблюдалась в аквариумах № 7 и 8, вода в которых не только подщелачивалась, но в нее добавлялись фосфор и нитратный азот. Наряду с большим качественным разнообразием (в аквариуме № 9 встречено 26 видов водорослей из 39 в контроле), характерно большое количественное развитие всех представителей. По общему количеству клеток, например, в аквариуме № 8, развитие в 10 раз выше, чем в контрольном, в 3 раза выше, чем в аквариуме № 2, в воду которого был добавлен только фосфор, и примерно такое же, как в аквариумах № 14 и 15, вода которых была освобождена от гуминовых веществ с последующим добавлением в нее фосфора и нитратного азота (рис. 3). Как можно видеть из табл. 4, аквариумы № 14 и особенно 15, в основном отличаются от аквариумов № 7 и 8 низкой гумификацией, будучи очень близкими по активной реакции, содержанию гидрокарбонатов и питательных солей. Правда, сырой объем планктона аквариума № 14 несколько превышает объем планктона аквариумов № 7 и 8, однако это превышение объясняется, по-видимому, меньшей компактностью при суточном отстаивании осадка нитей *Oedogonium*, давших здесь массовое развитие, по сравнению с компактностью осадка водорослей, развившихся в аквариумах № 7 и 8. В последних наиболее высокое развитие получили диатомовые *Fragilaria capucina*, *Melosira varians*, протококковые *Crucigenia fenestrata*, *Scenedesmus quadricauda*, и из тетраспоровых *Gloeococcus Schröeteri*. Большое развитие дали также сине-зеленые.

Из анализа данной группы аквариумов следует, что совместное добавление фосфора и нитратного азота при подщелачивании воды дает хороший положительный эффект как в воде, освобожденной от гуминовых веществ, так и в воде со значительным количеством этих веществ. При этом в последнем случае наблюдается большое качественное разнообразие форм, в первом же — тенденция к массовому развитию одной-двух форм.

При рассмотрении данных химического анализа воды аквариумов в начале и в конце опыта (табл. 4) обращает на себя внимание тот факт, что во всех аквариумах, где гуминовые вещества были коагулированы и удалены из воды, минеральный растворенный фосфор в конце опыта обнаружен в очень небольших количествах. Это наблюдалось как в случаях без добавления фосфора, так и в случаях с добавлением его (до 0,47 мг/л Р). Оставшиеся значения фосфора колеблются около 0,005—0,006 мг/л Р. В аквариумах же с гумифицированной водой минерального фосфора в конце опытного периода остается значительно больше. Так, в аквариумах, в которые фосфор не вносился, в конце опыта определено около 0,010—0,012 мг/л Р, при исходных количествах около 0,016—0,019 мг/л. В аквариумах, в которые был внесен фосфор до 0,46—0,47 мг/л Р, в конце опытного периода обнаружено 0,30—0,40 мг/л Р. Указанное различие в потреблении фосфатов в воде гумифицированной и освобожденной от гуминовых веществ объясняется, по-видимому, тем, что неорганический фосфор прочно адсорбируется гуминовыми коллоидами и становится труднодоступным для растений, как на это указывают Ф. Гесснер (F. Gessner, 1934) и В. Оле (W. Ohle, 1935).

Возможно также, что в гумифицированной воде в течение опыта энергично происходил процесс регенерации минерального фосфора, находящегося в органическом комплексе.

Характерно также, что в аквариумах № 7 и 8 с гумифицированной водой, которая здесь, кроме добавления в нее фосфатов и нитратов, известковалась, фосфатов в конце опытного периода определено значительно меньше, чем в аквариуме № 2 с гумифицированной водой и таким же исходным количеством фосфата, но без известкования. Это также согласуется с высказываниями вышеуказанных авторов о том, что ионы кальция, разрыхляя адсорбционные связи, делают более доступными для растительных клеток ионы фосфора.

Выводы из данного опыта следующие:

1) В водах, богатых гуминовыми веществами (в воде Крюкламбы) ощущается острый недостаток фосфатов.

2) Добавление фосфатов значительно стимулирует развитие водорослей. Однако часть вводимых фосфатов вступает в адсорбционную связь с гуминовыми коллоидами и не может быть использована водорослями (о чем имеются также указания у цитированных выше авторов: Оле, Гесснер).

3) Кальций извести разрыхляет адсорбционные связи, и фосфор становится более доступным.

4) Поэтому вода, богатая гуминовыми веществами, удобренная фосфором и азотом, только при известковании дает такую же продукцию, как и вода, лишенная гуминовых веществ и удобренная фосфором и азотом, но без известкования.

5) Положительного эффекта в развитии водорослей от добав-

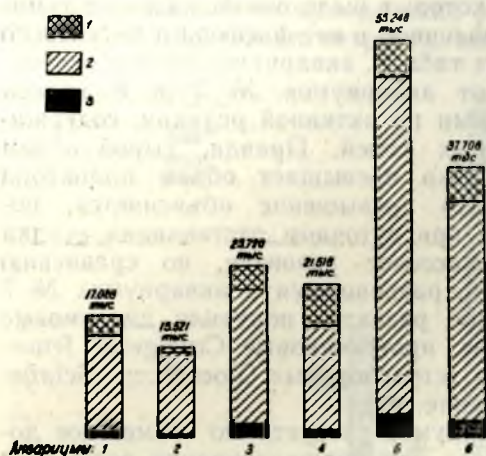


Рис. 4. Влияние добавления фосфатов, нитратов и извести на развитие фитопланктона в воде Крюкламбы (цветность 176°, перманганатная окисляемость 30—32 мг O_2 /л). Опыт № 5.

1. Зеленые. 2. Сине-зеленые 3. Диатомовые

ления нитратов в гумифицированную воду не установлено.

Опыт № 5. Для подтверждения результатов опыта № 4 о роли фосфатов, нитратов и извести в повышении продукции фитопланктона в воде, богатой гуминовыми веществами, был поставлен опыт непосредственно на водоеме (Крюкламба). Стекланные банки объемом в 3 литра заполнялись нефилтрованной водой Крюкламбы (анализ воды см. в табл. 5) с тем количеством планктона, который находился в данный момент в этом объеме. Оставив одну банку в качестве контрольной (№ 1), в остальные вносили питательные соли: в банку № 2 внесен раствор KNO_3 (из расчета 1,5 мг NO_3 на литр воды аквариума); в банку № 3—раствор KH_2PO_4 (из расчета 1,0 мгР на литр воды аквариума), в банку № 4 были внесены обе соли в тех же концентрациях. Наконец, вода банок № 5 и 6 подщелачивалась добавлением в банку № 5 $Ca(OH)_2$ в количестве 50 мг/л и в банку № 6— $CaCO_3$. Для лучшего растворения $Ca(OH)_2$ и $CaCO_3$ в воду пропускалось некоторое количество углекислоты. Затем в обе банки были добавлены фосфаты и нитраты в таких же концентрациях, как

и в предыдущие. Банки погружались в воду до уровня находящейся в них воды и подвешивались на шестах, укрепленных на плоту. Сверху горло каждой банки закрывалось клеенчатым квадратиком таким образом, что два противоположные угла квадратика прижимались к стенке горла, а два другие оставались приподнятыми. Эти крышки предохраняли содержимое банок от дождя и засорения, а с другой стороны — давали возможность газообмена с воздухом. Опыт стоял в течение 33 суток.

Результаты анализа воды аквариумов в начале и конце опыта помещены в табл. 5, результаты подсчета фитопланктона представлены на рис. 4.

В фитопланктоне аквариумов развивались преимущественно сине-зеленые (*Gloeocapsa minima*, *Microcystis*, *Merismopedia*, *Dactiloscopsis*). Значительно ниже было развитие зеленых и диатомовых. Из зеленых наиболее многочисленно представлены *Ankistrodesmus bipex*, *Gloeotila planctonica*, *Oedogonium* sp., из диатомовых — *Nitzschia palea*, *Tabellaria fenestrata* v. *intermedia*.

Как видно из рис. 4, данный опыт очень наглядно подтверждает недостаток в гумифицированной воде Крюкламбы минерального фосфора, показывает важную роль известкования при внесении фосфора и ставит под сомнение роль нитратов. Как при внесении в воду только нитратов, так и при совместном внесении их с фосфатами развитие находящегося в воде фитопланктона несколько угнетается. Повидимому, водоросли Крюкламбы с успехом используют для питания аммонийный азот, которого в воде ламбы достаточно.

Важнейшие выводы из приведенных экспериментальных работ следующие:

1. Недостаточное развитие фитопланктона в гумусных водоемах типа ламб следует поставить в зависимость от недостатка питательных солей, в первую очередь, фосфатов.

2. Гуминовые вещества не оказывают прямого тормозящего действия на количественное развитие фитопланктона при наличии достаточного количества питательных солей. Они, в некоторой степени, даже могут стимулировать развитие фитопланктона, особенно при смешивании воды олиготрофного водоема с небольшим количеством гумифицированной воды. Однако положительное или нейтральное действие гуминовых веществ имеет свои пределы.

3. Гуминовые соединения, как вытекает из наших наблюдений, а также и из литературных данных, оказывают косвенное отрицательное влияние на развитие фитопланктона, прочно удерживая поверхностями коллоидальных частиц важные элементы питания (фосфор).

4. Низкое содержание гидрокарбонатов, а также слабокислая реакция (по крайней мере при pH до 5,7) при наличии достаточных концентраций биогенных элементов не оказывает отрицательного действия на интенсивность развития фитопланктона в воде, богатой гуминовыми веществами.

5. Внесение в гумифицированную воду (оз. Крюкламба) солей фосфора (0,5—1,0 мг/л Р) повышает интенсивность развития фитопланктона в 1,5—3 раза (в различных опытах). Добавление только нитратного азота до 1,5 мг/л NO_3 , так же, как и при совместном его добавлении с фосфатами, положительного эффекта не дает.

6. Большой положительный эффект производит добавление в воду, содержащую значительное количество гуминовых веществ, фосфата

Результаты анализа воды в аквариумах. Опыт № 5

№ аквариума	Время опыта	Цветность (в градусах)	Окисляемость (мг/л O ₂)		pH	CO ₂ (мг/л)	O ₂		HCO ₃ ⁺ (мг/л)	Fe общее (мг/л)	NH ₄ (мг/л)	NO ₃ ⁺ (мг/л)	P (мг/л)
			перманганатная	бихроматная			(мг/л)	%					
1. (Контрольный). Вода Крюк- лабмы	Начало опыта	175	32,7	63,4	5,70	9,2	—	—	2,9	0,26	0,6	0,00	0,007
	Конец опыта	170	31,7	56,6	6,50	3,1	11,62	93	5,0	0,08	0,1	0,00	0,006
2. Вода Крюклабмы, +KNO ₃ (1,0 мг/л NO ₃)	Начало опыта	175	30,9	60,4	5,80	8,8	—	—	4,7	0,26	0,5	1,50	0,007
	Конец опыта	170	32,3	59,9	6,50	3,1	11,37	91	5,9	0,08	0,1	0,4—0,5	0,003
3. Вода Крюклабмы +KH ₂ PO ₄ (1,0 мг/л P)	Начало опыта	175	31,6	59,3	5,75	11,4	—	—	4,4	0,26	0,5	0,00	1,090
	Конец опыта	170	33,4	54,6	6,40	4,4	11,43	92	5,0	0,08	0,1	следы	0,780
4. Вода Крюклабмы +KH ₂ PO ₄ +KNO ₃	Начало опыта	175	31,7	62,3	5,80	8,8	—	—	3,2	0,26	0,5	1,50	1,290
	Конец опыта	170	32,8	57,8	6,90	3,5	11,92	95	7,5	0,10	0,1	0,40	0,096
5. Вода Крюклабмы +Ca(OH) ₂ +KH ₂ PO ₄ +KNO ₃	Начало опыта	175	29,9	59,3	6,20	20,9	—	—	20,1	0,26	0,5	1,50	1,170
	Конец опыта	165	30,9	59,5	>8,00	0,0	11,96	103	64,8	0,16	0,1	0,50	0,102
6. Вода Крюклабмы +CaCO ₃ +KH ₂ PO ₄ +KNO ₃	Начало опыта	175	30,9	56,8	7,20	5,3	—	—	45,8	0,26	0,5	1,50	1,170
	Конец опыта	170	30,8	59,5	>8,00	0,0	13,98	111	51,6	0,14	0,1	0,75	0,101

совместно с известкованием воды. Объем продукции фитопланктона возрастает тогда в 3—10 раз (в различных опытах).

Кальций извести способствует ослаблению адсорбционной связи фосфора с гумусовыми коллоидами.

7. Изменение гидрохимического режима гумусных водоемов типа ламб путем внесения в них питательных солей (фосфора) и путем известкования воды при том же или близком содержании в них гуминовых веществ поведет к усиленному развитию в них фитопланктона, а следовательно, к поднятию их первичной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

Конова М. М. и Панкова Н. В. 1950. Воздействие гумусовых веществ на рост и развитие растений. Доклады АН СССР, сер. XXIII, 5.

Прозоровская А. А. 1936. Влияние гуминовой кислоты и ее производных на поступление азота, фосфора, калия и железа в растение. Сб. НИУФ.

Христева Л. К. 1947. Влияние гуминовых кислот на рост растений при различном соотношении питательных веществ в начале развития. Доклады ВАСХНИЛ, № 10.

Христева Л. К. 1948. К вопросу о природе воздействия гуминовых кислот на растения. Доклады ВАСХНИЛ, № 6—7.

Христева Л. К. 1949. Влияние гуминовых кислот на развитие корней у различных сельскохозяйственных растений. Доклады ВАСХНИЛ, № 8.

Gessner Fr. 1934. Nitrat und Phosphat im distrophen See. Archiv f. Hydrobiol, XXVII.

Ohle W. 1935. Organische Kolloide und ihre Wirkung auf den Stoffhaushalt der Gewässer. Naturwissenschaften, 23, Hf. 26—52.