

Б. Я. Слободчиков и В. Г. Стройкина

Влияние азота, фосфора и железа на развитие фитопланктона в озере Севан

Значение фитопланктона, являющегося одним из первоисточников органического вещества в водоеме, исключительно велико. Целый ряд пищевых цепей начинается с фитопланктона. Фитопланктон, наряду с органическим детритом и бактериями, является одним из компонентов питания зоопланктона, который, служа пищей не только животным бентоса, но и рыбам, в значительной степени обуславливает продуктивность водоема.

Фитопланктон озера Севан, как показали работы К. С. Владимировой [1] и В. Г. Стройкиной [2], небогатый. Из экспериментальных работ К. А. Гусевой [3, 4, 5] известно, что для развития зеленых водорослей (особенно протококковых), в первую очередь, необходим азот, для диатомовых—кремний и железо. Большое влияние на развитие фитопланктона оказывает также фосфор.

Какие же из основных биогенных элементов лимитируют развитие фитопланктона в озере Севан? Для разрешения данного вопроса авторами настоящей статьи в 1949 и 1950 гг. было проведено 120 опытов, из которых 38 преследовали цель—выявить значение азота, 31—фосфора, 7—железа, 38—совместного действия азота и фосфора и 6—совместного действия азота и железа на развитие фитопланктона в озере Севан.

Биологические материалы обработаны В. Г. Стройкиной, гидрохимические—Б. Я. Слободчиковым.

Методика и материалы

В основу опытов был положен метод так называемой „гидро-биологической производительности“ А. Францева [6], видоизмененный нами, исходя из конкретных условий севанской действительности.

В банки белого стекла, емкостью 0,7 л, наливалась пропущенная через бумажный фильтр севанская вода, в которую вводилось точно просчитанное количество планктонных водорослей. Затем в пробы добавлялся азот или фосфор, или железо, или эти элементы в комбинации. Азот добавлялся в форме KNO_3 , фосфор— KH_2PO_4 и железо— $Fe_2(SO_4)_3$. Количество азота, вводимого в пробы, колебалось от 0,5 до 2,0 мг, фосфора—от 0,03 до 2,00 мг и железа—от 0,05 до 1,50 мг. В контрольную пробу вводились только водоросли, без добавления солей. Банки герметически закупоривались и в дере-

вяных стойках с грузом, в целях максимального приближения условий опытов к естественным, опускались в озеро на глубину 10 м, где и выдерживались от 5 до 20 суток.

По окончании срока экспозиции пробы вынимались. В каждой пробе определялось содержание ранее введенных биогенных элементов. Затем пробы фиксировались формалином и обрабатывались отстойно-счетным методом. При подсчете принимались во внимание только те формы фитопланктона, которые были введены в пробу в начале опыта. При всех опытах вводились лишь севанские растительные организмы в количестве от 1383 до 11918 клеток. *Aphanophyce* и *Volvococcus* подсчитывались по колониям, а все остальные формы — по клеткам.

Так как в первую очередь нас интересовало выяснение факторов, ограничивающих развитие зеленых водорослей, то постановка опытов была приурочена ко времени наиболее богатого развития этой группы в озере.

Результаты экспериментальных работ по выяснению влияния различных концентраций биогенных элементов на развитие фитопланктона излагаются ниже.

а) Действие азота

Первая серия опытов проводилась с 5 по 15/VII-1949 г. Азот вводился в пробы в концентрации 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 мг. В каждую пробу было введено 11918 растительных организмов. Температура воды за время экспозиции проб колебалась от 16,4 до 19,0°. В исходной воде азот отсутствовал. Результаты опытов приведены в таблице 1.

Вторая серия опытов по выяснению действия азота на развитие фитопланктона проводилась в то же время года и отличалась от первой лишь продолжительностью экспозиции, в течение которой температура воды колебалась от 16,4 до 18,6°. Срок экспозиции — 20 суток, с 5 по 25/VII-1949 г. Результаты второй серии опытов приведены в таблице 2.

Анализируя данные двух серий опытов, характеризующих действие азота на развитие фитопланктона в начале летнего периода, мы видим, что последний оказывает различное влияние на те или иные группы водорослей. Дiatомовые водоросли на добавку азота реагировали в большинстве случаев отрицательно. Так, например, в первой серии опытов при десятисуточной экспозиции количество диатомовых водорослей, развившихся в контрольной пробе без азота, превысило таковое в пробах с искусственной добавкой азота. При двадцатисуточной экспозиции лишь *Asterionella* дала пышное развитие при добавке азота в 0,20 мг. При добавках же азота 0,5; 1,0 и 2,0 мг развитие *Asterionella* не только не увеличивалось, но даже прекращалось. На нетребовательность данной формы к азоту

указывает Гусева [4], устанавливающая оптимальную дозу азота в форме $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ для ее развития в 0,20 мг/л.

Таблица 1

Действие различных концентраций азота на развитие фитопланктона в севанской воде при экспозиции в 10 суток, с 5 по 15 VII-1949 г.

Название водорослей	Контроль		Количество водорослей при добавках азота в мг			
	было водорослей	стало водорослей	0,2	0,5	1,0	2,0
Диатомовые						
<i>Asterionella</i>	11160	27000	13800	23450	20800	4600
<i>Cyclotella</i>	70	300	300	1400	—	1200
<i>Stephanodiscus</i>	90	—	600	—	450	—
Синезеленые						
<i>Arthrothoe</i>	10	145	600	1400	4500	6880
Зеленые						
<i>Botryococcus</i>	10	—	600	—	—	—
<i>Pandorina</i>	80	240	—	—	—	3200
<i>Ankistrodesmus</i>	50	900	5409	7000	9450	12400
<i>Gloeococcus</i>	168	—	8400	—	16000	—
<i>Dictyosphaerium</i>	120	—	—	5100	78000	—
<i>Oocystis</i> sp. sp.	160	—	20400	—	36000	16000
В с е г о	11918	28585	56409	84250	165200	44280
Остат. азота в мг	—	—	0,0	0,15	0,5	0,95

Таблица 2

Действие различных концентраций азота на развитие фитопланктона в севанской воде при экспозиции в 20 суток, с 5 по 25 VII-1949 г.

Название водорослей	Контроль		Количество водорослей при добавках азота в мг			
	было водорослей	стало водорослей	0,2	0,5	1,0	2,0
Диатомовые						
<i>Asterionella</i>	11160	11550	64600	1125	1050	715
<i>Cyclotella</i>	70	160	1425	—	525	—
<i>Stephanodiscus</i>	90	700	—	—	—	—
Синезеленые						
<i>Arthrothoe</i>	10	—	5225	3100	—	—
Зеленые						
<i>Botryococcus</i>	10	—	—	—	—	—
<i>Ankistrodesmus</i>	50	142	950	5700	9975	39000
<i>Gloeococcus</i>	168	476	—	—	—	—
<i>Dictyosphaerium</i>	120	240	—	—	—	—
<i>Oocystis</i> sp. sp.	160	140	1476	3276	21000	27800
В с е г о	11838	13408	73676	13201	32550	67515
Остат. азота в мг	—	—	0,0	0,0	следы	0,0

По иному реагируют на добавление азота синезеленые и зеленые водоросли.

Синезеленая—*Aphanothese*—давала увеличение числа колоний при различных добавках азота при экспозиции в 10 суток от 140 до 690 раз, а при экспозиции в 20 суток—до 522 раза. Но при двадцатисуточной экспозиции в пробах с добавлением азота в 1,0 и 2,0 мг *Aphanothese* отмирала. Прекращалось развитие *Aphanothese* при двадцатисуточной экспозиции и в контрольной пробе, в то время как при десятисуточной экспозиции развитие ее в контрольной пробе не прекращалось и достигало увеличения в 14,5 раза.

Не менее активно реагируют на добавку азота и зеленые водоросли. По данным контрольной пробы большинство зеленых водорослей без добавления азота при десятисуточной экспозиции отмирало, тогда как в пробах с введением азота численность их по сравнению с заранее известным исходным количеством возрастала примерно в 583 раза.

Величину прироста синезеленых и зеленых водорослей в зависимости от различных концентраций азота и продолжительности экспозиции приводим в таблице 3.

Таблица 3

Прирост синезеленых и зеленых водорослей при различных дозах азота

Содержание NO ₃ в мг	Синезеленые		Зеленые	
	Прирост		Прирост	
	через 10 суток	через 20 суток	через 10 суток	через 20 суток
0	14,5	0	1,9	1,7
0,2	690,0	522,0	583,0	4,1
0,5	140,0	310,0	97,0	15,2
1,0	450,0	0	233,2	52,6
2,0	688,0	0	107,0	113,4

Данные таблицы 3 показывают, что для развития синезеленых водорослей наиболее благоприятной концентрацией азота было содержание последнего, независимо от срока экспозиции, в 0,2 мг. Для зеленых при экспозиции в 10 суток данное содержание азота также было оптимальным. При экспозиции же в 20 суток максимальное развитие зеленых водорослей наблюдалось при концентрации азота в 2,0 мг.

Длительность экспозиции определяет большее количество поколений и разнообразное взаимодействие всех происходящих в пробе процессов, поэтому результаты действия различных концентраций азота при длительной экспозиции опыта выражены менее ясно, чем при более короткой. Так, *Aphanothese*, очень хорошо развивавшаяся при десятисуточной экспозиции, отмирала при двадцатисуточной экспозиции. У зеленых отмирания не наблюдалось, но интенсивность нарастания падала.

Третья серия опытов по выяснению роли азота на развитие растительных организмов была проведена в конце летнего периода. Качественный состав фитопланктона в это время года в значительной степени отличался от такового в начале летнего периода.

В фитопланктоне в конце лета из диатомовых почти полностью отсутствовала *Asterionella*, из зеленых — *Botryococcus*, *Pandorina*. Среди синезеленых появлялся *Gloeocapsa*.

Третья серия опытов с экспозицией в 20 суток проводилась с 16/VIII по 5/IX-1949 г. В пробы озерной воды было добавлено 0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,0; 1,2; и 1,6 мг азота в форме KNO_3 и 3039 растительных организмов. NH_4 , NO_2 и NO_3 в озерной воде отсутствовали. Пробы выдерживались на глубине 10 м. Температура воды за время опыта колебалась от 15,6 до 18,8°.

Результаты опытов приведены в таблице 4.

Как и следовало ожидать, диатомовые водоросли слабо реагировали на прибавление к севанской воде того или иного количества азота. Иное влияние оказывал азот на развитие зеленых и синезеленых водорослей. Количество синезеленых и зеленых водорослей непрерывно возрастало по мере увеличения концентраций азота.

Благоприятное действие азота на развитие зеленых водорослей подтверждается также данными контрольных проб, в которые азот не добавлялся. В них не только не наблюдался прирост растительных организмов, но для целого ряда видов *Oocystis*, *Dictyosphaerium*, *Gloeococcus* имело место сокращение количества. Данные о степени прироста фитопланктона в зависимости от концентрации азота приводятся в таблице 5.

Анализ проб на содержание азота после 20-суточной экспозиции показал, что азот в процессе жизнедеятельности фитопланктона потребляется почти полностью. Так, в большей части проб было констатировано отсутствие азота, и лишь в пробах с добавкой азота в 1,20 и 1,60 мг азот присутствовал в первом случае в виде следов, во втором — в количестве 0,20 мг.

Четвертая серия опытов была проведена в конце лета 1950 г. с 5 по 15/VIII.

Результаты опытов приведены в таблице 6.

Данные опытов 1950 г. подтверждают благоприятное действие азота на развитие синезеленых и зеленых водорослей в севанской воде.

б) Действие фосфора

В большинстве озер фосфор лимитирует развитие растительных организмов. Содержание его в природных водах обычно исчисляется сотыми и тысячными долями мг.

Воды Севана исключительно богаты фосфором [7]. Однако мы все же сочли нужным, путем добавления различных его концентраций, проследить действие его на развитие фитопланктона в водах Севана, характеризующихся целым рядом особенностей полного состава, несвойственных большинству водоемов СССР.

Действие различных концентраций азота на развитие фитопланктона

Название водорослей	Контроль		Количество водорослей		
	было водорослей	стало водорослей	0,05	0,1	0,3
Диатомовые					
<i>Cyclotella</i>	111	64	94	72	100
<i>Stephanodiscus</i>	67	80	102	108	94
Синезеленые					
<i>Aphanothece</i>	273	299	450	430	765
<i>Gloeocapsa</i>	1700	2021	2116	4500	3720
Зеленые					
<i>Ankistrodesmus</i>	—	1600	4700	6028	5590
<i>Chloococcus</i>	252	142	308	6020	—
<i>Oocystis</i> sp. sp.	216	104	1200	1376	1176
<i>Dictyosphaerium</i>	420	—	630	2130	2190
В с е г о	3039	6770	12372	20661	19635
Остаток азота в мг	—	—	0,0	0,0	0,0

Нами было проведено три серии опытов. Первая серия была проведена в летний период, с 5 по 15/VII-1949 г. В исходной воде содержалось 0,88 мг HPO_4 . Количество фитопланктона, вводимого одновременно с добавлением фосфора от 0,20 до 4,00 мг, равнялось в каждой пробе 11918 клеткам. Экспозиция—10 суток. Температура воды в озере за время экспозиции колебалась от 16,4 до 19,0°.

Результаты опытов приведены в таблице 7.

Сопоставление развития фитопланктона в контрольной пробе с таковым в пробах с искусственным увеличением фосфора показало, что последний не стимулировал роста фитопланктона. Более того, высокое содержание его задерживало развитие водорослей.

Вторая серия опытов с добавлением фосфора проводилась аналогично первой. Различие заключалось лишь в сроках экспозиции. Пробы выдерживались не 10, а 20 суток (с 5 по 25/VII-1949 г.). За время экспозиции проб температура воды в озере колебалась от 16,4 до 18,6°. Результаты опытов даны в таблице 8.

При длительной экспозиции проб добавление фосфатов, так же как и в первой серии опытов, не стимулировало развития фитопланктона. Более того, высокая концентрация их прекращала развитие фитопланктона.

При содержании HPO_4 , равном 4,58 мг, количество водорослей сократилось с 11918 до 1270.

Третья серия опытов, проведенная с 16 VIII по 5 IX-1949 г. характеризует влияние фосфора на развитие растительных организмов в конце летнего периода, когда в составе фитопланктона отсутство-

Таблица 4

в севанской воде при экспозиции в 20 суток, с 16 VIII по 5/IX-1949 г.

при добавках азота в мг

0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,6
340 217	290 219	274 200	160 212	211 104	177 109
1220 9750	3400 11750	3311 9010	4650 13721	7042 17915	7710 16215
6800 6860 1330 3475	6960 8232 1472 3342	6466 5963 9268 4896	9942 20076 9064 5387	1300 22400 1179 5050	141000 17220 1132 2118
29992	35665	39388	63216	55201	185681
0,0	0,0	0,0	0,0	следы	0,2

вали из диатомовых водорослей *Asterionella*, из зеленых — *Botryococcus* и *Pandorina*.

Таблица 5

Прирост водорослей в севанской воде в зависимости от концентрации азота

Концентрация NO_3 в мг	П р и р о с т		
	диатомовые	синезеленые	зеленые
0,0	0	1,2	0
0,05	1,1	1,2	2,0
0,1	1,0	2,4	3,3
0,3	1,1	2,2	1,9
0,5	3,1	5,5	3,9
0,7	2,8	7,1	4,2
0,9	2,6	6,2	5,6
1,0	2,0	9,3	9,4
1,2	1,7	12,0	10,5
1,6	1,6	12,1	9,0

В отличие от первых двух серий фосфаты при третьей серии опытов вводились в пробы с озерной водой в значительно меньшем количестве. Естественное содержание HPO_4 в севанской воде равнялось 0,337 мг/л. Экспозиция проб продолжалась 20 суток, в течение которых температура воды в Севане колебалась от 15,6 до 18,8°.

Результаты опытов приведены в таблице 9.

Данные таблицы 9, так же как и в первых двух сериях опытов, подтверждают, что высокое содержание фосфора на развитие фитопланктона в пробах действовало угнетающе.

Таблица 6

Действие различных концентраций азота на развитие фитопланктона в севанской воде при экспозиции в 20 суток, с 5 по 26/VIII-1950 г.

Группа водорослей	Контроль		Количество водорослей при добавках азота в мг					
	было водорослей	стало водорослей	0,05	0,1	0,5	1,2	1,5	2,0
Диатомовые	97	380	4200	—	—	525	—	71
Синезеленые	270	384	7500	9930	24775	26580	28460	36875
Зеленые	1016	788	9000	11692	22410	52382	50079	53922
В с е г о	1383	1552	20700	21622	47215	79487	78539	90869

Таблица 7

Действие различных концентраций фосфора на развитие фитопланктона в севанской воде при экспозиции в 10 суток, с 5 по 15/VII-1949 г.

Название водорослей	Контроль		содерж. HPO_4	Количество водорослей при добавлении HPO_4 в мг			
	было водорослей	стало водорослей		0,2	1,0	2,0	4,0
Диатомовые							
Asterionella	11160	27000	0,880	7350	6400	4425	3600
Cyclotella	70	390	0,880	—	—	—	—
Stephanodiscus	90	—	0,880	—	—	—	—
Синезеленые							
Arphanothese	10	1450	0,880	1650	1000	192	—
Зеленые							
Botryococcus	10	—	0,880	—	—	—	—
Pandorina	80	240	0,880	—	—	—	—
Ankistrodesmus	50	900	0,880	300	120	715	288
Gloeococcus	168	—	0,880	150	—	97	216
Dictyosphaerium	120	—	0,880	—	200	315	—
Oocystis sp. sp.	160	—	0,880	5400	800	—	314
В с е г о	11918	29890	—	14850	8520	5744	4418
Остат. HPO_4 в мг	—	—	—	0,920	1,818	2,777	4,521

в) Действие железа

Опыты по выяснению действия железа на развитие фитопланктона были проведены нами с 5 по 25/VIII-1950 г. Железо в форме $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ вводилось в пробы в количестве от 0,5 до 1,50 мг. Пробы выдерживались в течение 20 суток на глубине 8 м. Температура воды за время опытов колебалась от 15,6 до 18,8°. В исходной воде соединения железа отсутствовали. Результаты опытов приведены в таблице 10.

Таблица 8

Действие различных концентраций фосфора на развитие фитопланктона в севанской воде при экспозиции в 20 суток, с 5 по 25.VII-1949 г.

Название водорослей	Контроль		Естественное содерж. НРО ₄	Количество водорослей при добавлении НРО ₄ в мг			
	было водорослей	стало водорослей		0,2	1,0	2,0	3,7
Диатомовые							
<i>Asterionella</i>	11160	11550	0,880	5400	16250	10800	750
<i>Cyclotella</i>	70	300	0,880	—	—	—	—
<i>Stephanodiscus</i>	90	—	0,880	—	—	—	—
Синезеленые							
<i>Aphanotheca</i>	10	—	0,880	—	1500	1125	200
Зеленые							
<i>Botryococcus</i>	10	—	0,880	—	—	—	—
<i>Pandorina</i>	80	—	0,880	—	—	—	—
<i>Ankistrodesmus</i>	50	142	0,880	1200	750	1000	320
<i>Chloococcus</i>	168	476	0,880	—	—	—	—
<i>Dictyosphaerium</i>	120	140	0,880	—	—	—	—
<i>Oocystis</i> sp. sp.	160	140	0,880	1800	700	—	—
В с е г о	11918	13408	—	8700	19950	13325	1270
Остат. НРО ₄ в мг	—	—	—	0,920	1,854	2,702	4,462

Данные таблицы 10 говорят о высоком стимулирующем действии железа на развитие фитопланктона в севанской воде. Так, например, общее количество клеток при добавке всего лишь 0,05 мг железа увеличилось по сравнению с контролем в 17,2 раза, а при добавке 1,50 мг железа больше чем в 47 раз.

Наиболее ярко влияние железа выразилось в отношении развития синезеленых и зеленых водорослей.

г) Совместное действие азота и фосфора

Для выяснения совместного действия азота и фосфора на развитие севанского фитопланктона нами были проведены четыре серии опытов в начале и конце летнего периода. Экспозиция пробы продолжалась от 5 до 20 суток.

Первая серия опытов была проведена с 16.VIII по 5/IX-1949 г. Срок экспозиции 20 суток. В пробы азот добавлялся в количестве от 0,05 до 2,00 мг. В исходной севанской воде азотистые соединения отсутствовали. Естественное содержание НРО₄ в севанской воде равнялось 0,337 мг/л. Кроме того, одновременно с азотом в пробы добавлялся фосфор от 0,03 до 2,00 мг. Температура воды за время опытов колебалась от 15,6 до 18,8°.

Результаты опытов приведены в таблице 11.

Во всех опытах при совместном введении азота и фосфора наблюдался значительный прирост фитопланктона по сравнению с контрольной пробой. Развитие, однако, протекало весьма своеобразно,

Таблица 9

Действие различных концентраций фосфора в севанской воде на развитие фитопланктона при экспозиции в 20 суток, с 16.VIII по 5.IX.1959 г.

Название водорослей	Контроль		Естественное содерж. НРО ₄	Количество водорослей при добавлении НРО ₄ в мг									
	было водо- рослей	стало водо- рослей		0,03	0,05	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,25	2,00	
Диатомовые													
Cyclotella	111	64	0,337	960	188	3300	3000	3500	—	980	300	450	
Stephanodiscus	67	80	0,337	240	780	552	300	—	312	109	89	16	
Синезеленые													
Aphanothese	273	299	0,337	360	1500	1750	1800	1050	740	980	622	575	
Gloeocarpa	1700	2081	0,337	480	420	200	—	—	—	—	—	—	
Зеленые													
Ankistrodesmus	3820	1000	0,337	3300	4270	7400	7940	7211	2140	1100	2000	1450	
Gloeococcus	252	142	0,337	197	216	110	313	356	—	420	—	150	
Dictyosphaerium	420	—	0,337	21	71	—	300	350	370	280	150	—	
Oocystis sp. sp.	27	13	0,337	24	—	—	—	350	—	—	—	—	
В с е г о	6670	6679	—	5582	7745	13312	13653	12817	3562	3869	3161	2641	
Остаток НРО ₄ в мл	—	—	—	0,350	0,290	0,295	0,337	0,280	0,300	0,281	0,680	2,222	

наибольший прирост имел место при добавке азота в количестве от 0,5 до 2,0 мг, фосфора—от 0,5 до 0,25 мг. Огромное увеличение численности давали *Aphanothece*, особенно в пробах 4 и 5, *Ankistrodesmus*—в пробах 5, 6 и 7, *Gloeococcus*—в пробах 5 и 6, *Scenedesmus* (который попал в воду, очевидно, в виде спор)—в пробах 3 и 4.

Таблица 10

Действие различных концентраций железа на развитие фитопланктона в севанской воде при экспозиции в 20 суток, с 5 по 25/VIII-1950 г.

Название водорослей	Контроль		Количество водорослей при добавлении железа в мг		
	было водорослей	стало водорослей	0,05	0,50	1,50
Диатомовые					
<i>Cyclotella</i>	50	55	390	415	3150
<i>Stephanodiscus</i>	22	—	—	4150	2450
Синезеленые					
<i>Aphanothece</i>	95	70	3276	6610	10150
<i>Gloeocarpa</i>	175	314	—	—	4200
Зеленые					
<i>Botryococcus</i>	10	—	390	—	—
<i>Ankistrodesmus</i>	315	372	2730	2490	—
<i>Gloeococcus</i>	23	5	1726	6225	700
<i>Oocystis</i> sp. sp.	35	110	4524	10405	10150
<i>Nephrocytium</i>	9	240	—	830	3850
В с е г о	734	1166	13036	31156	34650

Остаток железа

Железо выпало из раствора

Общее увеличение фитопланктона в зависимости от различных концентраций азота и фосфора, по сравнению с исходным количеством, колебалось от 5 до 55 раз.

Вторая, третья и четвертая серии опытов были проведены в период господства в планктоне диатомовых с целью еще раз проверить влияние повышенных концентраций азота и фосфора на эту группу водорослей.

Результаты опытов приведены в таблице 12.

Данные таблицы говорят о слабом действии различных концентраций азота и фосфора на развитие диатомовых водорослей. При экспозиции проб в течение 5 суток только *Stephanodiscus* давал в некоторых пробах небольшое увеличение числа клеток по сравнению с контролем, а *Cyclotella* и *Asterionella* лучше чувствовали себя в контрольной пробе без добавления азота и фосфора.

При экспозиции в 10 суток развитие диатомовых водорослей шло несколько активнее, однако зависимость развития их от концентрации азота и фосфора прослеживается очень слабо. Небольшой прирост числа клеток по сравнению с контролем давали все три вида диатомовых. В пробе, куда было добавлено 1,20 мг азота и

Таблица 11

Совместное действие азота и фосфора на развитие фитопланктона в севанской воде при экспозиции в 20 сутках, с 16/VIII по 5/IX-1949 г.

Название водорослей	Контроль		Сод. в исходн. воде	Количество водорослей после добавки N и P в мг								
	было по- дослей	стало по- дослей		п р о б ы								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
				N 0,05 P 0,03	0,10 0,10	0,30 0,05	0,90 0,18	1,00 0,10	1,20 0,15	1,60 0,25	2,00 0,025	2,00 2,00
Диатомовые												
<i>Cyclotella</i>	111	64	нет	8250	550	—	275	—	150	1500	—	9200
<i>Stephanodiscus</i>	67	80	—	750	—	—	—	—	—	752	700	—
Синезеленые												
<i>Aphanizotes</i>	273	289	—	3000	6050	6490	48100	37600	28800	3'500	8400	28750
<i>Gloeocapsa</i>	1700	2081	—	4500	3850	—	—	—	—	12200	87550	—
Зеленые												
<i>Ankistrodesmus</i>	765	4400	—	—	—	11800	—	50000	80500	120080	15800	—
<i>Gloeococcus</i>	252	142	—	—	—	9440	—	161980	147410	14000	—	98000
<i>Dityrosphaerium</i>	420	—	—	—	—	35400	—	—	—	82680	—	—
<i>Oocystis</i> sp. sp.	216	204	—	6000	7840	—	—	—	628	40000	60016	18320
<i>Scenedesmus</i>	—	—	—	—	—	63600	65000	3435	3740	2566	2100	57500
В с е г о	3801	7170	—	22.00	19290	126730	113375	253015	261338	306278	174566	211770
Остаток азота	—	—	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,75	1,0
Остаток фосфора	—	—	—	0,332	0,337	0,332	0,300	0,327	0,300	0,125	0,327	0,755

Совместное действие азота и фосфора на развитие диатомовых водорослей в севанской воде. Экспозиция 2 суток.
 Таблица 12
 с 25/V по 30/VI-1950 г.

Название водорослей	К о л и ч е с т в о		Содержание в озерной воде		Количество клеток при добавлении KNO_3 и HPO_4 в мг					
	было во- дорослей	стало во- дорослей	KNO_3	HPO_4	N-0,5 P-0,03	0,10 0,01	0,50 0,05	1,20 0,15	2,00 2,00	2,00 1,25
Asterionella	6233	6150	0,00	0,675	4650	1315	4900	5062	2840	3410
Cyclotella	50	1500	0,00	0,675	1050	375	1000	750	310	291
Stephanodiscus	72	50	0,00	0,675	700	—	—	375	620	375
В с е г о	6355	7700	—	—	6440	1690	5900	6157	3770	4076
Экспозиция 10 суток, с 25/V по 5/VI-1950 г.										
Asterionella	6233	2730	0,00	0,675	4180	4500	5250	8680	1178	6118
Cyclotella	50	20	0,00	0,675	—	432	825	3750	310	475
Stephanodiscus	72	192	0,00	0,675	640	1875	—	325	620	475
В с е г о	6355	2912	—	—	5120	6807	6075	12755	2108	7068
Экспозиция 18 суток, с 25/V по 13/VI-1950 г.										
Asterionella	6233	387	0,00	0,675	3500	7750	5750	8000	5800	6011
Cyclotella	50	15	0,00	0,675	106	94	285	245	292	114
Stephanodiscus	72	50	0,00	0,675	140	250	292	187	73	47
В с е г о	6355	452	—	—	3746	8094	6327	8432	6165	6172

0,15 мг фосфора (общее количество фосфора 0,825 мг), общее число клеток по сравнению с исходным увеличилось в 2 раза, а по сравнению с контролем в 4,3 раза. При экспозиции в 18 суток влияние азота и фосфора на развитие диатомовых выражено также в очень слабой степени. Наблюдалась примерно такая же картина, как и при десятисуточной экспозиции. При длительной экспозиции опыта в пробах с добавлением азота и фосфора количество клеток с небольшими колебаниями было близким к исходному числу.

На основании этих опытов можно говорить об очень слабом действии повышенных концентраций азота и фосфора в севанской воде на диатомовых по сравнению с зелеными и синезелеными водорослями.

д) Совместное действие азота и железа

Серия опытов по выяснению совместного действия азота и железа на развитие севанского фитопланктона была проведена нами с 5 по 25 VIII-1950 г. В пробы с озерной водой, в которой аналитически отсутствовали азот и железо, первый вводился в форме KNO_3 , второе в форме $Fe_2(SO_4)_3$ в концентрации от 0,05 до 2,0 мг. Пробы выдерживались в течение 20 суток. Температура воды изменялась от 15,6 до 18,8°. Результаты опытов даны в таблице 13.

Таблица 13

Совместное действие азота и железа на развитие фитопланктона в севанской воде при экспозиции в 20 суток, с 5 по 25 VIII-1950 г.

Название водорослей	Контроль		Количество водорослей при добавлении азота и железа				
	было водорослей	стало водорослей	N—0,05 F—0,05	0,50 0,50	1,20 1,20	1,50 1,50	2,00 2,00
Диатомовые							
Asterionella	25	325	—	—	—	—	—
Cyclotella	50	55	65	11025	3480	7200	—
Stephanodiscus	22	—	350	1875	4600	—	—
Синезеленые							
Aphanothece	95	70	3150	12000	60560	103500	140400
Gloeocapsa	175	314	275	16875	8120	49500	33750
Зеленые							
Botryococcus	10	—	—	1125	—	—	—
Ankistrodesmus	315	372	2800	—	1160	900	2700
Gloeococcus	700	140	9800	—	41400	15200	—
Dityosphaerium	510	—	—	45000	3480	—	—
Oocystis sp. sp.	280	230	2160	18750	23200	31050	22270
Nephrocylum	9	240	—	—	—	—	—
В с е г о	2191	1746	18600	106650	146000	207350	199120

Данные таблицы 13 говорят об очень благоприятном совместном действии азота и железа на развитие большинства форм севан-

ского фитопланктона, а именно: *Aphanothece*, *Gloeocapsa*, *Gloeococcus*, *Oocystis*, *Cyclotella* и других.

Относительный прирост водорослей по группам, в зависимости от концентрации азота и железа, приведен в таблице 14.

Таблица 14

Прирост фитопланктона при различных количествах азота и железа, добавленных к севанской воде

Концентрация в мг		П р и р о с т			
N	Fe	диатомовые	синезеленые	зеленые	фитопланктон в целом
0,05	0,05	1,0	8,9	15,0	10,6
0,50	0,50	33,9	75,1	66,0	61,0
1,20	1,20	21,2	178,8	70,5	83,6
1,50	1,50	18,9	398,4	48,0	118,7
2,00	2,00	—	453,5	25,4	114,0

Синезеленые давали наилучший прирост при добавлении азота и железа в количестве от 1,50 до 2,00 мг (398,4—453,5 раза), зеленые—от 0,50 до 1,20 мг (66,0—70,5 раза), диатомовые—от 0,5 до 1,20 мг (21,2—33,9 раза).

На основании проделанных опытов с достоверностью можно сказать, что развитие фитопланктона в озере Севан лимитирует не фосфор, как в большинстве озер СССР, а азот и железо. Добавление этих элементов в значительной степени повышает продукцию фитопланктона.

Севанская гидробиологическая станция
Академии наук Армянской ССР

Поступило 1 VI 1954 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Владимиров К. С. Фитопланктон озера Севан. Труды Севанской гидробиологической станции, т. IX, 1947.
2. Стройкина В. Г. Фитопланктон пелагиали озера Севан. Тр. Севанской гидробиологической станции, т. XIII, 1953.
3. Гусева К. А. Гидробиологическая производительность и прогноз цветения водоемов. Микробиология, т. VII, вып. 6, 1938.
4. Гусева К. А. Цветение Учинского водохранилища. Труды Зоол. института АН СССР, т. VII, вып. I, 1941.
5. Гусева К. А. Причины периодичности в развитии фитопланктона Учинского водохранилища. Бюллетень Московского О-ва исп. природы, т. I, II, вып. 6, 1947.
6. Францев А. Опыт оценки гидробиологической производительности Москворецкой воды. Микробиология, т. I, вып. 2, 1932.
7. Слободчиков Б. Я. Гидрохимический режим озера Севан по данным 1947—1949 гг. Тр. Севанской гидробиологической станции, т. XII, 1951.

Բ. Յա. Ալարոզյիկով և Վ. Գ. Ասրուղիկյան

ԲՈՐԱԿԱԾՆԻ, ԼՈՒՍԱԾՆԻ ԵՎ ԵՐԿԱՅԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ
ՖԻՏՈՊԼԱՆԿՏՈՆԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՎՐԱ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Լճի պելագրիալում օրգանական նյութի սկզբնաղբյուրներից մեկը հանդիսացող ֆիտոպլանկտոնի նշանակությունը բացասիկ մեծ է: Կերի շրջաօրինակի մի ամբողջ շարք սկսվում է ֆիտոպլանկտոնից:

Բուսական օրգանիզմները բաղադրված են օրգանական պետությունների միասին հանդիսանում են զոոպլանկտոնի կերի հիմնական կոմպոնենտներից մեկը և սահմանավորում են նրա զարգացումը:

Քիմիական այս կամ այն տարրերի ազդեցությունը բուսական օրգանիզմների զարգացման վրա հաստատված է սովետական պատմական պատմականների մի ամբողջ շարքի կողմից:

Քիմիական տարրերից որոնք են սահմանավորում ֆիտոպլանկտոնի զարգացումը Սևանում: Այդ հարցի լուծմանն է նվիրված Հայկական ՍՍԽ Դիտությունների տիպականացման Սեանի հիգիենայի և կապի 1949 — 50 թթ. կատարած աշխատանքների մի մասը: Այդ աշխատանքները պարունակում էին մի շարք փորձեր, որոնց նպատակն էր՝ պարզել բուսականության, լուսածնի, երկաթի, նաև նրանց տարրեր կոմբինացիաների թուլության ազդեցությունը ֆիտոպլանկտոնի զարգացման վրա:

Փորձերի հիմքում դրված էր փրանցիկ առարկա կոչված «Հիգիենայի տիպական առարկայի ֆիտոպլանկտոնի» մեխանիզմը, որը մեր կողմից ձևավորված էր: Ելնելով Սեանի իրականությունը կոնկրետ պայմաններից, ֆիտոպլանկտոնի զարգացման վրա ներգործող քիմիական տարրեր տարրերի ազդեցությունը պարզելու համար կատարված է բնագամենը 114 փորձ:

Փորձական ազդեցության պարզարանմանը նվիրված փորձերի տրդյունքները բերված են 1, 2, 3, 4, 5 և 6 աղյուսակներում, լուսածնի ազդեցության փորձերի տրդյունքները՝ 7, 8 և 9 աղյուսակներում, երկաթի ազդեցության նվիրված փորձերի տրդյունքները բերված են 10 աղյուսակում, իսկ բուսականության և լուսածնի, բուսականության և երկաթի համատեղ ազդեցությունը բնութագրում են 11, 12, 13 և 14 աղյուսակները:

Կատարված փորձերի հիման վրա կարելի է պնդել, որ Սևանա լճում ֆիտոպլանկտոնի զարգացումը սահմանավորում է ոչ թե լուսածնի, ինչպես ՍՍԽ լճերի մեծ մասում, այլ բուսականության և երկաթի: Այդ տարրերի ամփոփումը զգալի չափով բարձրացնում է ֆիտոպլանկտոնի տրտադրությունը: