

Л. П. РЫЖКОВ

ДИНАМИКА СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ОЗЕРЕ СЕВАН

Изучение динамики азота в условиях понижения уровня озера Севан представляет большой интерес, так как азот является одним из важнейших факторов, определяющих биологическую продуктивность водоемов. Однако до сих пор о соединениях азота в Севане известно очень мало. В работах О. К. Стаховского [10] и С. Я. Лятти [5], характеризующих гидрохимический режим Севана в допусковый период, отмечалось отсутствие минерального азота в озере. При изучении гидрохимического режима Севана на первом этапе его спуска [2, 8, 9] впервые было указано на наличие в озере минерального азота. По данным Б. Я. Слободчикова [9], после понижения уровня озера на 10 м среднее содержание нитратов составляло 0,02 мг/л. Другие соединения минерального азота в это время обнаружены не были. В последующие годы несмотря на продолжающийся спуск озера изучение соединений азота в Севане не проводилось.

К началу настоящего исследования, т. е. к январю 1960 г. уровень оз. Севан понизился на 13,5 м. За весь период работ (до октября 1961 г.) уровень Севана еще понизился на 1,3 м. Вследствие этого водная масса озера по сравнению с допусковым периодом к концу исследования уменьшалась на 34,4%.

Материалом настоящей работы послужили результаты анализов проб воды, отбирившихся на двух постоянных станциях, расположенных в открытой части Малого и Большого Севана. Пробы воды отбирались батометром Кнудсена с различных горизонтов водной толщи, от дна до поверхности. Анализ проб воды производился в лаборатории на протяжении первых суток с момента их взятия из водоема. Всего проанализировано 126 проб воды.

Определение минерального азота производилось по прописям О. А. Алескина [1]. Органический азот определялся модифицированным методом микрокельдаля.

Аммонийный азот. Источником аммонийного азота в Севане, кроме минерализации отмерших водных растений и животных, могут быть продукты разложения органических веществ иловых отложений, которые в результате спуска озера подошли к прибрежной зоне, и органические вещества речного стока. Содержание аммонийного азота в Севане подвержено некоторым колебаниям (табл. 1).

Приведенные в таблице данные показывают, что в 1961 г. аммонийный азот встречался в озере Севан на протяжении всего периода исследования, т. е. минерализация органического вещества в Севане происхо-

дит круглогодично. Во время смены форм и массового отмирания водных организмов [6, 11] минерализация органического вещества усиливается, что приводит к некоторому увеличению содержания аммонийного азота в озере (в апреле, июне — июле и в сентябре). Зимой, когда минерализация органического вещества замедляется, содержание аммонийного азота в озере уменьшается (январь). К аналогичному выводу пришел М. Е. Гамбарян [3], который изучал количественное развитие аммонифицирующих бактерий. По его данным, аммонификаторы в Севане встречаются круглогодично, с максимумами весной и осенью. Увеличение аммонийного азота летом, по-видимому, связано с произошедшими в резуль-

Таблица 1
Содержание аммонийного азота в водной толще озера Севан в мг/л

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
М. Севан	0,11	—	0,18	0,23	0,22	0,22	0,23	0,18	0,21
Б. Севан	0,19	—	0,19	0,23	0,15	0,23	0,21	0,17	0,21
Среднее по озеру	0,16	—	0,19	0,23	0,18	0,23	0,22	0,17	0,21

тате спуска озера изменениями. Одной из причин летнего максимума в содержании аммонийного азота в Севане может быть вступление в круговорот органических веществ иловых отложений. Последние в основном размываются летом, так как в это время увеличивается скорость спуска озера. Так, в летние месяцы попуски воды из Севана достигали 160 млн. куб. м., а во все другие сезоны года они не превышали 118 млн. куб. м.

Зимой в Малом Севане основное количество аммонийного азота накапливается в верхних слоях воды (табл. 2). Это, вероятно, связано с вертикальным распределением фитопланктона и аммонифицирующих бактерий. По данным Легович, наименьшее количество фитопланктона в это время было на поверхности и на глубине 10 м (0,433—0,543 мг/л). Аммонифицирующие бактерии в это время в основном сосредоточены в поверхностном слое воды [3], т. е. процесс минерализации органического вещества наиболее интенсивен в поверхностном слое воды. В другие сезоны года слоистость в распределении аммонийного азота в Малом Севане почти отсутствует, что может быть обусловлено также весенней и осенней циркуляцией воды [4] и ветровой деятельностью [7].

В Большом Севане некоторое увеличение содержания аммонийного азота наблюдалось в придонных слоях весной. В другие же сезоны года различия в вертикальном распределении аммонийного азота почти отсутствовали.

Нитритный азот. Соли азотистой кислоты в Севане встречаются в небольших количествах, что может быть обусловлено незначительным развитием нитрифицирующих бактерий, которые, по данным М. Е. Гамбаряна [3], на первом этапе спуска озера были обнаружены лишь зимой. Некоторое увеличение содержания нитритов в 1960 и особенно в 1961 г.

весной и в конце лета (табл. 3) указывает на то, что в результате спуска озера происходят изменения в его режиме. Эти изменения, по-видимому, создают благоприятные условия для усиления процессов минерализации органических веществ и в частности нитрификации.

Уменьшение содержания нитратов до аналитического нуля, как и в доспускной период, наблюдалось в конце весны и в начале лета (май, июнь, июль). В 1960 г. нитриты не были обнаружены даже в марте.

Таблица 2
Вертикальное распределение аммонийного азота в озере Севан по данным 1961 г.

Глубина и м	Ян- варь	Фев- раль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
	Содержание аммонийного азота в мг/л								
Малый Севан									
0,5	0,15	—	0,20	0,22	0,22	0,20	0,22	0,18	0,22
10	0,15	—	0,18	0,25	0,22	0,21	0,22	0,17	0,22
20	0,11	—	0,17	0,22	0,23	0,24	0,23	0,18	0,20
40	0,08	—	0,18	0,23	0,22	0,22	0,23	0,18	0,22
60	0,09	—	0,19	0,24	0,20	0,21	0,22	0,18	0,22
Большой Севан									
0,5	0,15	—	0,18	0,22	0,15	0,24	0,21	0,18	0,22
10	0,21	—	0,20	0,23	0,14	0,25	0,21	0,17	0,21
20	0,18	—	0,18	0,22	0,16	0,21	0,22	0,17	0,19
30	0,20	—	0,22	0,27	0,19	0,22	0,22	0,17	0,23

Таблица 3
Сезонное распределение нитритов в озере Севан в мг/л

	Ян- варь	Фев- раль	Март	Ап- рель	Май	Июнь	Июль	Ав- густ	Сеп- тябрь	Ок- тябрь	Ноябрь	Декабрь
1960 год												
М. Севан	0,002	—	0	—	0	—	0	—	0,03	—	0,01	—
Б. Севан	0,003	—	0	—	0	—	0	—	0,03	—	0	—
Среднее по озеру	0,003	—	0	—	0	—	0	—	0,03	—	0,04	—
1961 год												
М. Севан	0,002	—	0,015	0,017	0	0	0	0,04	0,015	—	—	—
Б. Севан	0,004	—	0,026	0,023	0	0	0	0,04	0,014	—	—	—
Среднее по озеру	0,003	—	0,022	0,021	0	0	0	0,04	0,014	—	—	—

Различия в распределении нитритов по вертикали водной толщи озера почти отсутствовали (табл. 4). Накопление нитритов в придонных слоях водной толщи в сентябре (М. Севан) и в марте (Б. Севан), по-видимому, обусловлено усилением процесса нитрификации у дна озера. В результате стагнации нитриты могли накапливаться в местах их образования. Некоторое увеличение нитритов на поверхности воды в апреле (М. Севан) и в сентябре (Б. Севан) можно связать с распределением основного потребителя азота — фитопланктона.

Нитратный азот. Содержание нитратов в озере Севан в различные годы и по сезонам одного года значительно колеблется (табл. 5). В 1960 г. наибольшее количество нитратов наблюдалось зимой. По мере прогревания воды и развития фитопланктона содержание нитратов в озере постепенно уменьшалось и к маю достигло аналитического нуля. Этому, вероятно, способствовало также усиление весной процесса денитрификации [3].

Таблица 4

Вертикальное распределение нитритов в озере Севан (по данным 1961 г.)

Глубина м	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
	Содержание нитритов в мг/л								
Малый Севан									
0,5	0,001	—	0,017	0,025	—	0	0	0,040	0,013
10	0,002	—	0,015	0,020	0	0	0	0,042	0,012
20	0,002	—	0,015	0,016	0	0	0	0,040	0,012
40	0,003	—	0,014	0,015	0	0	0	0,042	0,013
60	0,003	—	0,014	0,015	0	0	0	0,043	0,043
Большой Севан									
0,5	0,005	—	0,020	0,023	0	0	0	0,046	0,019
10	0,003	—	0,019	0,022	0	0	0	0,042	0,013
20	0,003	—	0,031	0,024	0	0	0	0,043	0,013
30	0,005	—	0,046	0,024	0	0	0	0,042	0,012

Таблица 5

Содержание нитратов в озере Севан в мг/л

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1960 год												
М. Севан	0,08	—	0,04	—	0	—	0	—	0,06	—	0,07	—
Б. Севан	0,08	—	0,05	—	0	—	0	—	0	—	0,04	—
Среднее по озеру	0,08	—	0,05	—	0	—	0	—	0,02	—	0,05	—
1961 год												
М. Севан	0,02	—	0,06	0,01	0	0,06	0,03	0,05	0,21	—	—	—
Б. Севан	0,01	—	0,02	0,01	0	0,04	0,03	0,06	0,20	—	—	—
Среднее по озеру	0,01	—	0,03	0,01	0	0,05	0,03	0,06	0,20	—	—	—

В 1961 г. первый максимум содержания нитратов был весной (в марте), а второй — осенью (в сентябре). Полностью отсутствовали нитраты лишь в мае. Вероятно, отсутствие нитратов в это время явилось лимитирующим фактором для развития фитопланктона. Весьма интересно сопоставить между собой данные по содержанию нитратов и биомассе фитопланктона. В мае, по данным Легович, биомасса фитопланктона в М. Севане была 1,28 и в Б. Севане — 1,13 мг/л. Как видно из табл. 5, нитраты в это время в озере отсутствовали. В июне биомасса фитопланктона соответственно уменьшилась до 0,19 и 0,16 мг/л, а содержание ни-

тратов возросло до 0,06 и 0,04 мг/л. В июле биомасса фитопланктона увеличилась до 0,28 и 0,34 мг/л, а количество питратов уменьшилось до 0,03 мг/л. В августе же параллельно с увеличением биомассы фитопланктона (до 0,30 и 0,45 мг/л) происходило повышение содержания нитратов (до 0,05 и 0,06 мг/л). Последнее может быть связано с усилением процесса нитрификации. Об этом свидетельствует уменьшение содержания аммонийного азота и увеличение нитритов и нитратов в озере. По-видимому, немаловажное значение в этом имело и вступление в круговорот органических веществ иловых отложений, которые в результате интенсивного спуска озера в это время подошли к прибрежной полосе. О вступлении в круговорот органических веществ иловых отложений также свидетельствует высокая величина отношения C:N, которая в августе равнялась 5.

В сентябре биомасса фитопланктона уменьшилась до 0,16 и 0,26 мг/л, а содержание нитратов увеличилось соответственно до 0,21 и 0,20 мг/л.

Из сказанного следует, что между развитием фитопланктона и содержанием нитратов в Севане существует обратная зависимость, т. е. с увеличением биомассы фитопланктона уменьшается содержание нитратов в озере. Минеральный азот в Севане в основном образуется за счет минерализации органического вещества отмирающих водных организмов и размываемых иловых отложений, а потребляется в основном фитопланктоном. Во время замедления минерализации органического вещества или во время бурного развития подорослей недостаток минерального азота может лимитировать развитие последних.

Из приведенных в табл. 6 данных видно, что нитраты по вертикали водной толщи Севана в основном распределены равномерно.

Таблица 6
Вертикальное распределение нитратов в озере Севан (по данным 1961 г.).

Глубина в м	Ян- варь	Фев- раль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
М а л ы й С е в а н									
0,5	0,01	—	0,05	0,02	0	0,05	0,02	0,03	0,1
10	0,03	—	0,06	0,02	0	0,06	0,02	0,08	0,1
20	0,02	—	0,03	0,01	0	0,05	0,03	0,02	0,15
40	0,01	—	0,09	0	0	0,07	0,04	0,06	0,15
60	0,04	—	0,03	0,03	0	0,08	0,05	0,07	1,0
Б о л ь ш о й С е в а н									
0,5	0	—	0,03	0,01	0	0,05	0,03	0,08	0,1
10	0,03	—	0	0,01	0	0,05	0,02	0,06	0,15
20	0	—	0,01	0,01	0	0,02	0,01	0,05	0,2
30	0	—	0,08	0,01	0	0,03	0,05	0,05	0,5

Некоторые колебания в распределении нитратов по вертикали могут быть связаны как с развитием фитопланктона, так и с интенсивностью процессов нитрификации и денитрификации. Особенно показательным в этом отношении является сентябрь. В этом месяце наибольшее количество нитратов было сосредоточено у дна. По данным Легович, основной

потребитель нитратов фитопланктон в придонных слоях и это время встречался в наименьших количествах. Как уже отмечалось, накопление нитритов и нитратов в придонных слоях озера связано с усилением процесса нитрификации и с отсутствием перемешивания воды в это время.

Таким образом, можно полагать, что минерализация органического вещества в озере Севан происходит на протяжении всего года и во всей толще воды.

Органический азот в озере Севан встречается как во взвешенном (в основном фитопланктон), так и в растворенном состоянии (табл. 7).

Таблица 7
Содержание органического вещества (в мг/л) в озере Севан (по данным 1961 г.).

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Органический растворенный азот									
М. Севан	0,06	—	0,21	0,11	0,31	0,54	1,03	0,61	1,22
Б. Севан	0,25	—	0,26	0,07	0,45	0,36	1,21	0,85	0,61
Среднее по озеру	0,15	—	0,24	0,09	0,40	0,43	1,12	0,76	0,84
Азот взвешенных веществ									
М. Севан	0,01	—	0,12	0,21	0,34	0,26	0,46	1,29	0,60
Б. Севан	0,24	—	0,40	0,11	0,37	0,59	0,44	0,54	0,93
Среднее по озеру	0,19	—	0,29	0,15	0,36	0,47	0,47	0,86	0,81

Большую часть органического азота в озере Севан составляет растворенный азот (58,3%) и несколько меньшую — азот взвешенных веществ (41,7%). Следует отметить, что в первую половину года, когда биомасса фитопланктона достигает максимума [6], азот взвешенных веществ очень незначительно преобладает над растворенным азотом.

В Малом Севане азота, находящегося во взвешенном состоянии (фитопланктон), меньше (37,7%), чем в Большом Севане (47,3%). Эти данные согласуются с количественным распределением фитопланктона в озере. По данным Легович, за 4 летних месяца 1961 г. биомасса фитопланктона в М. Севане была 0,21, а в Б. Севане — 0,36 мг/л, т. е. в М. Севане меньше, чем в Б. Севане. Аналогичные данные были получены В. Г. Стройкиной [11].

В распределении органического азота по вертикали ясно выражена слоистость (табл. 8). Интересно, что эта слоистость не исчезает даже в периоды вертикальной циркуляции воды. Аналогичная слоистость была отмечена и в распределении фитопланктона [2, 11].

Выполненные расчеты показали, что в среднем в оз. Севан содержится 37500 т азота органического вещества, из них 14100 т в М. Севане и 23400 т в Б. Севане. Ежегодно около одной тонны азота выносятся с водой через канал ГЭС. Минерального азота в озере находится около 6500 т, в том числе в М. Севане 2400 т и в Б. Севане — 4100 т. Таким образом, в Севане резерв минерального азота составляет 17,3% от общего

содержания азота. Однако этот резерв создается в зимнее время, а летом весь минеральный азот потребляется фитопланктоном.

Сопоставляя наши данные с материалами С. Я. Лятти [5] и Б. Я. Слободчикова [9], можно отметить, что в результате понижения уровня Севана произошло увеличение содержания минерального азота. Это свидетельствует о продолжающемся эвтрофировании озера.

В заключение рассмотрим в целом этот сложный процесс круговорота азота в оз. Севан.

Обогащение водной толщи Севана минеральным азотом в основном осуществляется за счет минерализации органического вещества отмерших водорослей, зоопланктона и других водных организмов (аммонификация и нитрификация). В условиях понижения уровня озера некоторое значение в обогащении вод Севаня соединениями азота имеет минерализация органического вещества иловых отложений и, наконец, поступление азота с речными стоками.

Таблица 8
Вертикальное распределение органического азота в озере Севан в мг/л

Глубина в м	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
Органический растворенный азот										
М. Севан	0,5	0,09	—	0,04	0,31	0,34	0,33	1,26	2,34	1,69
	10	0,12	—	0,38	0,12	0,32	0,38	1,29	0,50	0,48
	20	0,01	—	0,33	0,03	0,27	0,85	1,17	0,26	0,92
	40	0,03	—	0,10	0,13	0,22	0,45	0,75	0,44	1,94
	60	0,05	—	0,06	0,12	0,58	0,52	0,52	0,33	1,25
Б. Севан	0,5	0,13	—	0,50	0,03	0,72	0,09	—	0,52	0,61
	10	0,44	—	0,22	0,16	0,57	0,25	1,14	1,37	0,60
	20	0,21	—	0,19	0,03	0,29	0,66	1,15	0,78	0,70
	30	0,25	—	0,17	0,01	0,14	0,34	1,46	0,08	0,41
Азот в взвешенных веществах										
М. Севан	0,5	0,01	—	0,29	0,28	0,70	0,34	0,29	0,53	0,20
	10	0,03	—	0,14	0,11	0,25	0,59	0,55	0,36	0,98
	20	0	—	0,09	0,31	0,36	0,08	0,39	3,19	0,59
	40	0	—	0,06	0,14	0,31	0,20	0,50	0,39	0,45
	60	0	—	0,11	0,28	0,14	0,08	0,58	2,30	0,73
Б. Севан	0,5	0,08	—	1,18	0,22	0,17	0,93	—	0,78	1,20
	10	0,33	—	0,20	0,06	0,25	0,56	0,34	0,22	0,73
	20	0,18	—	0,08	0,14	0,70	0,34	0,56	0,59	1,06
	30	0,11	—	0,56	0,06	0,22	0,76	0,10	0,92	0,78

Первым продуктом распада органического вещества в водоеме является аммонийный азот, ионы которого в природной воде очень нестойки и путем процессов нитрификации превращаются сначала в нитриты, а затем в нитраты. В работе М. Е. Гамбаряна [3] высказано предположение, что часть аммонийного азота может непосредственно улетучиваться в воздух, а другая часть усваиваться фитопланктоном. Отмершие водные организмы, которые не успевают минерализоваться, выпадают в осадок на дно и, следовательно, выходят из круговорота веществ. Образовавшийся минеральный азот частично выносится из озера через канал

ГЭС. Часть его путем денитрификации возвращается в атмосферу, а весь остаток потребляется фитопланктоном. Азот фитопланктона или потребляется более высокоорганизованными организмами, или после отмирания фитопланктона вновь минерализуется. Потребителями фитопланктона в Севане являются зоопланктон, зообентос и рыбы. Азот зоопланктона и зообентоса потребляется рыбами и выводится из круговорота веществ в водоеме, так как основная масса рыбы вылавливается. Оставшаяся часть зоопланктона и зообентоса после завершения цикла отмирает и минерализуется.

Севанская гидробиологическая станция
АН АрмССР

Получено 2.XII 1964 г.

1. 9. 814104

ԱՉՈՏԻ ԽՈՒՍՈՒՄՔՈՒՆՆԵՐԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ ԻՆՎԱՆԱ ԼՃՈՒՄ

Ա մ փ ո ֆ ո ս մ

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ազոտի տարրեր միացությունների պարունակությունը Սևանա լճում անկայուն է: Այսպես՝ ամփակային ազոտի առաջնայնությունը քանակությունը (0,23 մգ/լ) դիտվում է ապրիլին, հունիս-հոկտեմբերին և սեպտեմբերին, նվազագույնը (0,16 մգ/լ)՝ հունվարին: Սևանա լճի ջրերում նիտրիտները հայտնաբերվում են շնչին քանակությամբ, նրանք որոշ շափով շատանում են գարնանը և աշնանը: Նիտրատները բացակայում են միայն ամռանը: Օրգանական ազոտի առավելագույն քանակությունը դիտվում է ամռան վերջերին:

Ազոտի պարունակությունը և տեղաբաշխումը Սևանա լճում սերտորեն կապված է միկրորիոլոգիական պրոցեսների ինտենսիվության և ֆիտոպլանկտոնի զարգացման հետ:

Ներկայումս ազոտի պարունակությունը Սևանա լճում ավելի է, քան մինչև նրա մակարդակի իջեցումը: Այդ ցույց է տալիս, որ Սևանա լիճը, նրա մակարդակի իջեցման հետևանքով, էվորոֆանացման է ենթարկվում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Алексин О. А. Химический анализ вод суши Гидрометиздат, 1951
2. Владимирова К. С. Тр. Севанской гидробиол. станции, т. 9, 1947.
3. Гамбарин М. Е. Тр. Севанск. гидробиол. станции, т. 15, 1957
4. Давыдов В. К. Матер. по иссл. оз. Севан и его бассейна, ч. 2, вып. 1, 1934
5. Лутен С. Я. Матер. по иссл. оз. Севан и его бассейна, ч. 4, вып. 2, 1932.
6. Мешков Т. М. Тр. Севанск. гидробиол. станции, т. 16, 1962
7. Николаев Н. Г. Матер. по иссл. оз. Севан и его бассейна, ч. 3, вып. 6, 1934
8. Слободчиков Б. Я. Тр. Севанск. гидробиол. станции, т. 12, 1961.
9. Слободчиков Б. Я. Гидрохимический режим озера Севан Армян Севанск. гидробиол. станции, 1957
10. Стаховский О. К. Вест. рыбопром., 12, 1895
11. Стройкова В. Г. Тр. Севанск. гидробиол. станции, т. 13, 1953.