

Т. М. МЕШКОВА

ЭВТРОФИКАЦИЯ ОЗЕРА СЕВАН

В статье раскрывается картина процесса эвтрофикации озера Севан, в основе которого лежат изменения в морфометрии его — уменьшение глубины.

Многолетние и многосторонние стационарные исследования оз. Севан, в условиях искусственного понижения уровня, позволили установить существенные изменения в гидрологическом и гидрохимическом режиме и биологических процессах в озере, вследствие которых олиготрофный Севан вступил на путь эвтрофикации. Понижение уровня озера началось с 1938 г. Признаки эвтрофикации впервые обнаружались в 50-х годах (понижение уровня составляло 9—12 м). В дальнейшем изменения в режиме и биологии Севана умножались и усиливались. Они происходили в термике, содержании растворенного в воде кислорода, составе биогенов, прозрачности воды, развитии данной растительности, в составе и развитии фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. В конечном счете все эти изменения отразились на состоянии запасов промысловых рыб. В общем улове рыб, сохранившемся на уровне допускового периода и составляющем в среднем 10 тыс. ц, изменялось соотношение отдельных видов рыб. В 1971—1975 гг. (понижение уровня 17—18 м), когда снижение уровня озера почти прекратилось (в связи с пересмотром первоначального проекта спуска), по целому ряду показателей в абиотической среде и по состоянию водных пелозов—планктона и бентоса—Севан представлял собой умеренно эвтрофированный водоем с тенденцией к дальнейшему развитию эвтрофикации.

Официально (по заданию Гос. комитета Совета Министров СССР по науке и технике) тема «Эвтрофикация озера Севан» была включена в план научно-исследовательских работ Севанской гидробиологической станции в 1971 г. Целью исследований являлось вскрытие закономерностей и причин эвтрофикации оз. Севан. Настоящая статья составлена по материалам заключительного отчета.

Абиотические условия оз. Севан и их изменения в период спуска. Воды Севана до спуска и в начальный период его были прозрачными, чистыми и относительно холодными. Температура воды в открытой части озера летом у поверхности не превышала 18—20°C. Зимой и весной устанавливалась гомотермия, которая наступала в середине декабря при 7°C. Прогревание воды начиналось с апреля и заканчивалось в сентябре, термоклин находился на глубине 25—30 м. Ледяной покров на всей поверхности Севана был очень редким явлением.

Гиполимнион с низкими температурами воды в течение всего года занимал значительную площадь дна озера. В настоящее время среднемесячная летняя температура воды повысилась на 2—4°C (особенно в Б. Севане). Полная осенняя циркуляция и гомотермия устанавливаются в конце октября—начале ноября при 10—11°C. По мере понижения уровня озера учащались ледяные покровы на всей акватории озера, с 1971 г. они стали ежегодными. С уменьшением глубины озера прогревание толщи воды на большей площади достигло дна, в связи с чем сильно сократился объем гиполимниона.

Содержание кислорода во всей толще озера было высоким, не опускалось ниже 8 мг/л. Изменения в кислородном режиме обнаружались с 50-х годов, в 60-х годах увеличивалось снижение содержания кислорода в придонных слоях гиполимниона. В 1970—1972 гг. среднее содержание его в придонных слоях гиполимниона в Б. Севане в августе упало до 3,2—4,9 мг/л (35—50% насыщения), в сентябре—до 1,9—3,4 мг/л (20—35%). В 1974 г. с середины августа—сентябре в М. и Б. Севане в нижних слоях воды содержание кислорода составляло в среднем 3,3—4,5 мг/л (37—44%), к началу октября в отдельных пунктах оно упало до 0,13—0,36 мг/л. В 1975 г. объем придонных вод с дефицитом кислорода увеличился в обеих частях озера. Период обескислороживания нижних слоев воды совпадает со временем максимального прогревания толщи воды, в Б. Севане с почти полным исчезновением гиполимниона. Основной причиной ухудшения кислородного режима гиполимниона является сильное сокращение его объема и изменение при этом соотношения трофолитической и трофогенной зон.

Воды Севана высоко минерализованы. Концентрация солей до спуска составляла 552 мг сухого остатка/л. После понижения уровня озера на 17—18 м концентрация главных ионов значительных изменений не претерпела. Содержание кальция и магния осталось прежним, немного возросло содержание хлоридов.

Хорошо известной особенностью вод Севана было высокое содержание в них фосфатов. В 1938 г. содержание PO_4-P составляло 0,18 мг/л, в 1972—1973 гг. оно снизилось до 0,06—0,07 мг/л, однако и эти величины являются все еще значительными. Кремнекислота была и осталась в относительно небольших количествах (в 1938 г.—1,3 мг/л, в 70-х гг. содержание ее иногда снижалось до 0,4 мг/л). Крайне низким в севанской воде было содержание солей азота и растворенных солей железа, что лимитировало развитие в озере водной растительности, в настоящее время оно стало значительно выше (динамика биогенов в воде Севана пока в стадии изучения).

По мере уменьшения глубины озера происходило падение прозрачности воды. Максимальная прозрачность (по диску Секки), достигавшая до спуска 20 м, в последние годы не превышает 8—10 м. Средние ее показатели с 12—15 м снизились до 6—7 м. В периоды интенсивной вегетации планктонных водорослей прозрачность севанской воды

падает до 2,0—2,5 м. рН, вследствие высокой буферности севанской воды колебалась в незначительных пределах, 8,6—9,0.

Перманганатная окисляемость воды увеличилась незначительно. В 1938 г. она колебалась в пределах 1,5—2,8 мг/л O_2 , в последние годы максимальные ее величины составляют 5,7—8,4 мг/л O_2 .

Биологический режим оз. Севан. Высшая водная растительность до спуска развивалась в основном в верховьях заливов и бухтах озера, главными макрофитами открытого озера являлись харовые водоросли и мох, создавшие в пределах глубин 5—15 м зону «мха и хары». По мере понижения уровня и обнажения верховья заливов и бухт очень сильно сократилась площадь зарослей высших водных растений и постепенно ослабевало развитие хары и мха в открытом озере, особенно в Б. Севане, в котором в настоящее время харовых водорослей фактически нет. Зона «мха и хары» более или менее сохранилась в М. Севане, однако нижняя граница ее с 14—17 м в 1947—1948 гг. повысилась до 8—9 м в 1971 г., вероятно в связи со снижением прозрачности воды.

Фитопланктон пелагиали Севана до спуска и в начальной период его по качественному и количественному составу являлся типичным для олиготрофного озера. В его составе в холодное время года доминировали диатомовые — *Asterionella formosa*, виды родов *Stephanodiscus* и *Cyclotella*, в теплое время — зеленые — *Sphaerocystis schroeterii*, виды р. *Oocystis*. Изменения в качественном составе фитопланктона впервые были обнаружены во второй половине 50-х годов (понижение уровня 9—11 м). В пелагический комплекс фитопланктона вошло несколько новых для Севана видов водорослей из протококковых и сине-зеленых, другие виды вышли в пелагиаль из бухт, расширив свой ареал обитания; одновременно из состава фитопланктона пелагиали выпал ряд старых видов. Наряду с этим происходило возрастание общей численности и биомассы фитопланктона. Наиболее значительные изменения в фитопланктоне Севана наблюдались с 60-х годов (понижение уровня 16—17 м). В 1964—1965 гг. в озере появились два вида рода *Anabaena*, *A. flos-aquae*, *A. lemmermannii*, в 1966 г. — *Melosira granulata* v. *angustissima*, в 1968 — *Fragilaria crotonensis*, в 1970 — *Oocystis solitaria* v. *pachyderma*, в 1973 — *Nodularia spumigena*, в 1974 — *Aphanizomenon flos-aquae*.

Развитие всех этих водорослей сразу же приобрело массовый характер. С 1964 г. сине-зеленые регулярно вызывают «цветение» воды. До 1973 г. оно обуславливалось массовой вегетацией *Anabaena*, в 1973—1975 гг. еще двумя видами сине-зеленых, *Nodularia* и *Aphanizomenon*. Период «цветения» севанской воды удлинился, стал занимать все лето и начало осени. В 1975 г. наиболее сильное «цветение» вызывал *Aphanizomenon*. В общей сложности с середины 50-х годов по 1975 г. в составе севанского пелагического комплекса фитопланктона появилось до 20 новых видов водорослей. Большинство появившихся видов является показателем эвтрофных условий. Как известно, диато-

мовые *Fragilaria crotonensis* и *Melosira granulata* являются—хорошими показателями границы, где олиготрофная ассоциация переходит в эвтрофную, сине-зеленые *Aphanocapsa* и *Aphanizomenon* свидетельствуют о развитии эвтрофикации, причем позднее появившийся и вытеснявший «цветение» второй вид является более эвтрофным, чем севанские виды *Aphanocapsa*. Из старых видов севанского фитопланктона сохранила значение доминанта диатомея *Asterionella formosa*, но время ее максимума переместилось с весны на конец года, иногда она имеет два годовых максимума. Начиная с 1972 г. очень сильно ослабло развитие центрических диатомовых *Stephanodiscus* и *Cyclotella*, по сравнению с предыдущим периодом в 1972—1975 гг. их численность в планктоне пелагиали Севана сократилась в 10 раз, что отрицательно сказалось на развитии некоторых видов зоопланктона. Среди зеленых водорослей доминантная форма *Sphaerocystis Schroeterii* в общем сохранила свойственную ей интенсивность развития, усилилась вегетация *Ankistrodesmus falcatus*, некоторых видов р. *Oocystis*. Более интенсивным стало развитие старого севанского вида сине-зеленых—*Aphanothese clathrata*. Вместе с изменениями в качественном составе происходило возрастание общего количественного развития фитопланктона. Средняя биомасса его с 200—300 мг/м³ в 1937—1947 гг. увеличилась до 450—500 мг/м³ в последнее десятилетие. В последние годы усилилось развитие фитопланктона в летнее время (в основном за счет диатомовых и сине-зеленых). Средняя биомасса фитопланктона в июле-августе в поверхностном слое Б. Севана составляла в 1937—1947 гг. 75—100, в 1966—150, в 1970—600, в 1971—795, в 1972—1974 гг.—1225 мг/м³. Усиление развития фитопланктона в верхних слоях воды, появление высокого летнего максимума, массовое развитие видов, связанных с эвтрофными условиями, ежегодное «цветение» воды сине-зелеными—яркие признаки эвтрофикации Севана. Изменения в составе и развитии севанского фитопланктона имеют много общего с теми, которые наблюдались в одном из великих американских озер—оз. Эри при его эвтрофикации.

Пелагический комплекс зоопланктона в естественном состоянии озера включал 9 видов (коловратки—4, клadoцеры (дафния)—1, копеподы—4, из них три диапомуса и один циклоп). Коловратки в пелагиали озера не достигали высокой численности, ациклическая дафния находилась в планктоне круглый год. В количественном отношении севанский пелагический зоопланктон в течение всего года являлся копеподным-диапомусовым. Плодовитость планктонных животных была низкая. В общем, состав и количественное развитие зоопланктона соответствовали олиготрофному состоянию озера. В течение всего периода спуска, до 1971 г., качественный состав зоопланктона не изменялся. Новое в нем, в связи с большими изменениями в окружающей среде, касалось некоторых моментов биологии (циклическость, плодовитость и т. д.) и количественного развития отдельных видов. Изменения в качественном составе зоопланктона произошли в 70-х годах. В настоя-

шее время в составе пелагического комплекса зоопланктона Севана 7 видов коловраток, из них появились вновь и сразу же достигли значительной или высокой численности *Keratella cochlearis*, *Asplanchna priodonta*, *Euchlanis dilatata*. Очень сильно возросла численность старой севанской коловратки *Keratella quadrata*, до спуска массово развивавшейся в бухтах. Исчезла из планктона *Synchaeta pectinata*. Дафния продолжает оставаться в пелагиали единственным представителем кладоцер, у нее установилась моноциклия, почти на полгода она выпадает из планктона, восстановление популяции происходит из покоящихся яиц в конце июня—в течение июля, в конце лета наступает максимум численности и биомассы. В группе копепод с 1972 г. резко сократилась численность двух самых массовых диаптомусов—*Arctodiaptomus bacillifer* и *Arctodiaptomus spinosus* v. *fadeevi*. В 1973 г. от их массовых популяций остались единичные особи, в 1974—1975 гг. первый вид не встречался совсем, второй—единично (в основном самцы). Причиной исчезновения из севанского пелагического зоопланктона этих диаптомусов, несомненно, является резкое и сильное ослабление вегетации центрических планктонных диатомей—*Stephanodiscus* и *Cyclotella*, которыми в основном питались старшие копеподиты и половозрелые диаптомусы. Массовое развитие в планктоне центрических диатомовых с конца осени, зимой и весной обеспечивало высококалорийной пищей в течение всего периода размножения первый вид диаптомуса и подготовку к размножению второго вида, который накапливал энергетический материал для размножения в виде липидов. Сохранение в планктоне третьего вида—*Acanthodiptomus denticornis*—объясняется другим пищевым спектром его, в котором преобладают протококковые водоросли и детрит. Севанский циклоп—*Cyclops strenuus* v. *sevani*— в условиях спуска озера начал наращивать численность и биомассу с середины 60-х годов благодаря более высокой выживаемости науплиусов и младших копеподитов, получивших лучшие условия питания в связи с обогащением толщи воды органическими взвесями и снижением пищевой конкуренции с науплиусами диаптомусов и дафнией. Но в период хищного типа питания циклоп-монофаг лишился излюбленной пищи—науплиусов и младших копеподитов диаптомусов в связи с выпадением массовых видов диаптомусов из планктона. Сначала он перешел на усиленный каннибализм, пользуясь многочисленностью своего потомства, а затем сменил монофагию на полифагию (питание циклопа в современных условиях в озере требует новых исследований).

В современном составе зоопланктона Севана коловратки стали самой массовой группой, составляя до 80% его. Средняя численность дафний изменилась мало, однако испытывает в течение года резкие колебания. Численность диаптомусов, составлявшая до 50% зоопланктона, в 1969 г. понизилась до 37, в 1972—до 15, в 1974—до 0,5%. Численность циклопа в 70-х годах составляла до 20% зоопланктона. В отношении биомассы в составе зоопланктона картина иная (табл. 1).

Таблица 1

Средняя биомасса зоопланктона в оз. Севан в разные годы, мг/м³,
сырой вес

Годы	Коловратки	Дафния	Диатомусы	Циклоп	Всего
1937	3	210	188	29	490
1947	8	341	240	55	644
1969	3	185	228	123	539
1972	7	238	151	149	545
1974	24	223	16	443	706

Достигнув очень высокой численности в современном составе зоопланктона, мелкие по размеру коловратки тем не менее имеют небольшую биомассу. В 1937—1947 гг. в биомассе зоопланктона основную массу составляли дафнии и диатомусы, в 1969 г. возросло значение в ней циклопа, в 1972 г. диатомусы и циклоп имели равные доли, наконец, в 1974 г. на первом месте по величине биомассы находился циклоп. Биомасса диатомусов была совсем ничтожной. Средняя биомасса дафний в разные годы испытывала сравнительно небольшие колебания, и всегда была одной из основных частей общей биомассы севанского зоопланктона. Таким образом, за годы спуска севанский зоопланктон из коловраточного превратился в коловраточный, в отношении биомассы стал в основном циклопным, разбавленным дафниями в летне-осеннее время.

Приобретенные зоопланктоном Севана за годы спуска новые черты—обогащение коловратками, повышение плодовитости планктонных животных, появление высокого летнего максимума у дафнии указывают на изменение трофности озера.

Зообентос Севана до спуска по качественному составу и количественному развитию был относительно бедным. В его составе значительного количественного развития достигали бокоплавцы (*Gammarus lascticus*), которые давали около половины всей биомассы зообентоса. Их обилие было связано в основном с зоной «мха и хары» (глубина 5—15 м), где рачки находили богатую пищу и возможность уберечься от рыб. По мере понижения уровня, сопровождавшегося ослаблением развития донной растительности—мха и хары, численность бокоплавцов начала сокращаться, особенно в Б. Севане—основном промысловом районе озера. Биомасса бокоплавцов уменьшилась в 2,3 раза. Одновременно происходило усиление развития пелофильных донных животных—хириомид и олигохет. Эти изменения сказались на величине биомассы зообентоса (табл. 2).

Общая биомасса зообентоса увеличилась в 3,5 раза. В ней сильно возросло значение хириомид, биомасса их увеличилась в 14 раз. В составе хириомид особенно усилилось развитие *Chironomus plumosus*, *Ch. bathophilus*, *Procladius zernii*, являющихся показателями эвтрофных условий. Биомасса олигохет возросла в 3 раза. Среди олигохет самым массовым видом был и оставался до последнего времени *Eulyodrilus hammonniensis*—главный обитатель илов профун-

Таблица 2

Средняя биомасса зообентоса в оз. Севан в разные годы, г/м², сырой вес

Годы	1947—1948	1966—1967	1971
Бокоплавы	1,88	0,91	0,88
Олигохеты	1,00	2,65	3,19
Хиропоиды	0,64	3,16	9,25
Моллюски	0,20	0,64	1,23
Пиявки	0,55	0,54	0,57
Ручейники	0,02	0,01	0,01
Поденки	0,01	0,07	0,08
Всего	4,3	8,0	15,2

дали. Из других видов севанских олигохет возросла численность *Tubifex tubifex*. Биомасса пиявок (массовые виды: *Herpobdella octoculata*, *Helobdella stagnalis*, *Glossiphonia complanata*) в годы спуска оставалась на одном уровне. Моллюски (два вида *Limnea*, *Planorbis planorbis*, *Valvata piscinalis* и 7 видов *Pisidium*) увеличили свою биомассу в 6 раз, очень интенсивным стало развитие *Pisidium*. В годы спуска усилилось развитие единственного в Севане вида поденки *Ordella* sp., ее биомасса возросла в 8 раз. Ослабло развитие ручейников, из их состава выпали литоральные виды, связанные с твердыми грунтами, вследствие изменений характера грунтов современной литорали. Таким образом, развитие зообентоса в Севане по мере спуска становилось богаче, особенно в Б. Севане, при этом доминантными видами стали формы, связанные с высоким содержанием в грунтах органических веществ, т. е. животные, характерные для эвтрофных условий.

Промысловые запасы рыб в оз. Севан в условиях спуска. Промысловыми рыбами в оз. Севан до спуска и долгие годы периода спуска являлась форель (*Salmo ischchan*) и храмуля (*Varicorhinus capoeta sevangi*). Однако с середины 50-х годов в озере начался интенсивный рост поголовья сига (*Coregonus lavaretus*), вселенных в Севан из Ладожского и Чудского озер в 1923—1927 гг., которые также становятся промысловыми рыбами. В общем улове рыбы, сохранившимся до последних лет на уровне в среднем 10 тыс. ц, изменялось соотношение отдельных видов рыб (табл. 3).

Таблица 3

Улов рыбы в оз. Севан по годам, ц

Годы	Форель	Храмуля	Сиги	Всего
1937—1938	5814	6072	15	11901
1947—1948	3117	5411	49	8577
1954—1955	3502	6295	633	10230
1966—1967	2616	3139	4749	10504
1969—1970	1253	2616	5846	9715
1974—1973				

Запрет на лов яловся рыбы

До спуска форель и храмуля имели в общем улове примерно равные доли, сига встречались единично. В 40-х—50-х гг. улов форели уменьшился почти в 2 раза, улов храмули остался на прежнем уровне. В 60-х годах продолжалось падение улова форели, произошло сокращение улова храмули, одновременно очень сильно увеличился улов сига, который стал основной промысловой рыбой.

Причиной сокращения численности форелей в Севане на первом этапе спуска являлось нарушение условий естественного нереста вследствие осушения большей части озерных нерестовых площадей, что было компенсировано эффективными рыбоводными мероприятиями. В дальнейшем произошли серьезные изменения в физико-химическом режиме озера и нерестовых рек, а также существенные изменения в кормовой базе рыб, они были не в пользу форелей. Кроме того, при сильно возросшей численности сигов форель получила очень серьезного пищевого конкурента, а сиг—рыба очень пластичная во многих отношениях и в условиях падения численности форелей получил большие возможности для увеличения своего поголовья. Таким образом, озеро и в настоящее время остается лососевым водоемом, но за три десятилетия из форелевого превратилось в сиговый.

Обобщая материал исследований, можно весь период спуска Севана по степени и характеру процессов эвтрофикации разбить на две стадии: первая—до 1963 г.—в условиях быстрого понижения уровня (до 17 м) изменения являлись преимущественно количественными—увеличивалось развитие планктонных и донных организмов; вторая—с 1964 г.—падение уровня было незначительным (всего на 1,1 м), однако наряду с количественными происходили большие изменения качественного порядка—появились новые виды (показатели эвтрофикации в фитопланктоне), возникло «цветение» воды сине-зелеными водорослями, наблюдались резкие изменения в составе и развитии зоопланктона и зообентоса, сильно возрос дефицит кислорода в гипolimнионе, уменьшилась прозрачность воды и т. д.

Перечисленные показатели эвтрофикации в своем большинстве значительно сильнее выступают в Большом Севане.

Основной причиной эвтрофикации Севана, несомненно, являются изменения в морфометрии озера, усиление циркуляций и перемешивания вод, приведшие к перестройке динамики биогенных элементов. Эвтрофированию также способствовало повышение относительного поступления биогенов с водами притоков в результате сокращения объема воды в озере и значительного загрязнения вод притоков. Некоторое значение имело уменьшение потребления биогенов донной растительностью вследствие ослабления ее развития. В последнее десятилетие в Севане, по существу, происходит эвтрофикация обычного типа—при почти неизменном объеме озера возрастает поступление в него питательных веществ, но в основе этого процесса лежат изменения в морфометрии в предшествующий период.

Для устранения возможности «цветения» воды необходимо, чтобы гипolimнион, изолирующий богатое питательными веществами дно от остальной толщии воды, сохранился на достаточно большой площади озера в течение всего летнего периода. Необходимо некоторый подъем уровня, но он может быть эффективным лишь при условии защиты озера от внешнего загрязнения.

Севанская гидробиологическая станция,
АН АрмССР

Поступило 31.III 1976 г.

S. V. ՄԵՇԿՈՎԱ

ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԷՎՏՐՈՖԻԿԱՑԻԱՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Սևանա լճի երկարամյա և բազմակողմանի ուսումնասիրությունները նրա մակարդակի արհեստական իջեցման պայմաններում պարզեցին, որ զգալի փոփոխություններ են տեղի ունենում լճի հիդրոլոգիական, հիդրոքիմիական և կենսաբանական երևույթներում, որոնց հետևանքով Սևանա լիճն աստիճանաբար ենթարկվում է էվտրոֆիկացման: Դրա առաջին նշանները նկատվեցին 50-ական թվականներին, երբ ջրի մակարդակն իջել էր մոտ 12 մ: Հետագայում ջրի մակարդակի իջեցմանը զուգընթաց էլ ավելի ուժեղացան էվտրոֆիկացման երևույթները: Զգալի փոփոխությունների ենթարկվեցին ջրի ջերմաստիճանը, պարզությունը, լուծված թթվածնի քանակը, հատակում աճող բուսականությունը, ֆիտոպլանկտոնը, զոոպլանկտոնն ու զոոբենտոսը: Այդ ժամանակամիջոցում թեև պահպանվել էր ձկան արդյունաբերական որսի նախկին մակարդակը (10000 ցենտներ), սակայն զգալի փոփոխություններ են կատարվել նրա տեսակային վազմում: Այժմ, երբ ջրի մակարդակը իջել է մոտ 18 մ, միջավայրի աբիոտիկ ինչպես նաև ջրային ցենոզների, պլանկտոնի և բենտոսի փոփոխությունները Սևանի արդի վիճակը բնութագրում են որպես շահավոր էվտրոֆիկացված լիճ, որը հակում ունի նշված պրոցեսի հետագա զարգացման: Էվտրոֆիկացիայի հիմնական պատճառը լճի մորֆոմետրիայի փոփոխություններն են:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Неопубл. научн. статьи и отчеты (из архива станции) А. Г. Маркосяна, Т. М. Мешковой, Н. А. Легович, А. И. Смолей, Г. Г. Южаковой, Л. И. Харлашко и др.
2. Тр. Севанской гидробиологической станции, X—XVI, 1947—1968.
3. Тр. Севанской гидробиологической станции, XVII, 1974 (в печати).