Ռ. Հ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՍԵՎԱՆԱ ԼԻՃԸ ԵՐԵԿ, ԱՅՍՕՐ...

Р. Г. ОГАНЕСЯН
R. H. HOVHANNISSIAN

ОЗЕРО СЕВАН ВЧЕРА, СЕГОДНЯ...
LAKE SEVAN YESTERDAY, TODAY...

Այս հրապարակումը թվայնացվել է Եվրոպական միության և Գերմանիայի կառավարության ֆինանսական աջակցությամբ իրականացվող «Սևանա լճի շրջակա միջավայրի պահպանություն» (EU4Sevan) ծրագրի շրջանակում, որը իրականացվում է Գերմանիայի միջազգային համագործակցության ընկերության (ԳՄՀԸ)-ի կողմից՝ որպես «ECOServe» ծրագրի մաս, և ՄԱԶԾ կողմից՝ ՄԱԶԾ կողմից իրականացվող՝ Սևանա լճի էկոհամակարգի կառավարման բարելավման բաղադրիչի ներքո: Բովանդակության համար պատասխանատվություն է կրում հեղինակը, և պարտադիր չէ, որ այն արտահայտի Եվրոպական միության, ԳԴՀ ՏՀԱԶՆ և ՄԱԶԾ տեսակետները:

This publication was digitalized with the financial support of the European Union and the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) in the framework of "Environmental Protection of Lake Sevan" EU4Sevan Project implemented by GIZ, as a part of the ECOserve Programme, and UNDP, within the UNDP-implemented output on the further improvement of the Lake Sevan ecosystem governance. Its contents are the sole responsibility of the author and do not necessarily reflect the views of the European Union, BMZ, and UNDP.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ К ИЗДАНИЮ 1984 г 6

ГЛАВА 1. История проблемы озера Севан 10

ГЛАВА 2. Физико-географическая характеристика водосборного бассейна озера Севан 17

Географическое расположение и история формирования бассейна озера Севан. 17

Орография 21

Климат 28

ГЛАВА 3. Роль водосборного бассейна в формировании физико-химического и биологического режима озера Севан и в его эвтрофировании 40

Речная сеть водосбора озера Севан 40

Гидрографическая характеристика рек 40

Гидрохимическая характеристика рек 47

Краткая гидробиологическая характеристика рек 63

Влияние хозяйственной деятельности в бассейне озера Севан на процесс его эвтрофирования 68

Население, коммунальное хозяйство и промышленность 72

Сельское хозяйство 80

Животноводство 82

Растениеводство 90

Атмосферные осадки 105

Загрязнение озера Севан токсическими веществами 109

Загрязнение пестицидами 110

Загрязнение тяжелыми металлами 122

Содержание тяжелых металлов в притоках озера Севан 123

Содержание тяжелых металлов в атмосферных осадках 127

Содержание тяжелых металлов в воде озера Севан 128

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях озера Севан и его притоков 131

Содержание тяжелых металлов в гидробионтах озера Севан 132

ГЛАВА 4. Изменение морфометрических, физико-химических и гидробиологических характеристик Севана при понижении уровня 144

Изменение морфометрии Севана 144

Изменение гидрологического режима 156

Водный баланс 156

Температурный режим 158

Течения и водообмен между Малым и Большим Севаном 164

Прозрачность воды 165

Гидрохимическая характеристика озера 169

Минерализация, жесткость и pH воды 169

Содержание органического вещества 172

Кислородный режим 172

Режим основных биогенных элементов (азота и фосфора 174

Гидробиологическая характеристика озера Севан 184

Фитопланктон и первичная продукция 184

Бактериопланктон и бактериобентос 190

Макрофиты 193

Зоопланктон 199

Зообентос 201

Рыбы 203

ГЛАВА 5. Особенности антропогенного эвтрофирования озера Севан и его последствия 208

Изменения в экосистеме под влиянием эвтрофирования 208

Механизм эвтрофирования озера Севан 218

Последствия эвтрофирования озера Севан для хозяйственного использования его водных и биологических ресурсов 226

Качество вод 226

Рыбопродуктивность 232

Комплексное использование озера Севан 234

ГЛАВА 6. Мероприятия по замедлению эвтрофирования озера Севан 236

Пути снижения эвтрофирования 236

Разработка и применение математической модели динамики эвтрофирования озера Севан 239

Прогностическая оценка эффективности управления экосистемой озера Севан по замедлению его эвтрофирования 250
ВЫВОДЫ 260
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ОЛИГОТРОФИРО¬ВАНИЯ ОЗЕРА СЕВАН 265
Подсистема «Озеро 269
Подсистема «Водосборный бассейн 270
Население 270
Промышленность 271
Мелиорация 271
Растениеводство 272
Животноводство 273
Рыбное хозяйство 274
ПОСЛЕСЛОВИЕ 275
ՍԵՎԱՆԱ ԼԻՃԸ ԵՐԵԿ, ԱՅՍՕՐ... 280
LAKE SEVAN YESTERDAY, TODAY... 325
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ 360

ПРЕДИСЛОВИЕ К ИЗДАНИЮ 1994 г.

Интенсификация использования ресурсов внутренних водоемов в XX в. неизбежно сопровождалась увеличением антропогенной нагрузки на их экосистемы. В силу этого проблема экологических последствий антропогенного воздействия на экосистемы озер стала в последние десятилетия центральной проблемой гидроэкологии.

Детальное изучение, расшифровка механизмов, выявление ключевых факторов процессов, пути преодоления негативных последствий антропогенного эвтрофирования водоемов не только представляют большой теоретический интерес и важность для дальнейшего развития гидробиологической науки, но и крайне необходимы для решения практических задач народного хозяйства, и прежде всего вопросов водообеспечения населения, промышленности и сельскохозяйственного производства. Вместе с тем развитие экономики, рост населения, увеличение объемов водопользования усугубляют антропогенный пресс на водные объекты, причем в сферу хозяйственной деятельности все больше и больше вовлекаются практически все типы водоемов и водотоков.

Среди широко известных примеров негативных экологических последствий воздействий хозяйственной деятельности на экосистемы внутренних водоемов (Аральское море, Байкал, Великие озера США и Канады) проблема озера Севан выделяется своеобразием.

Книга Р.О. Оганесяна посвящена гидроэкологии озера Севан, в частности вопросам его антропогенного эвтрофирования. Актуальность, но вместе с тем и сложность проблемы озера Севан обусловлена сочетанием противоречивых аспектов: с одной стороны, это природный объект мирового значения, требующий всемерной охраны, с другой – единственный источник пресной воды крупного региона с развитым промышленным и сельскохозяйственным производством.

Искусственное увеличение стока из озера на нужды народного хозяйства привело к значительному понижению уровня озера и его последующему эвтрофированию. Начальный этап этого процесса описан в трудах Севанской гидробиологической станции и в монографиях М.Е. Гамбаряна [1968б] и Т.М. Мешковой [1975]. В начале 70-х годов процесс эвтрофирования оз. Севан резко усилился (к сожалению, это совпало по времени с перерывом в исследовании многих «блоков» озерной экосистемы). Возобновление широкомасштабных исследований озера Севан на первом этапе потребовало реализации широкой программы первичных наблюдений за состоянием экосистемы. На втором этапе основное внимание было уделено значению круговорота биогенных элементов и потока энергии через главные звенья трофической цепи.

В монографии Р.О. Оганесяна содержится обобщение исследований, проведенных коллективом ученых Севанской гидробиологической станции в период с 1930 по 1990 г. Автором выполнены анализ и обобщение всех имеющихся сведений по гидрофизическому, гидрохимическому и гидробиологическому режимам озера Севан в историческом аспекте за период, охватывающий несколько десятилетий, и на современном этапе. Для решения стоящей перед ним сложной задачи Р.О. Оганесян избрал единственно правильный путь – рассмотрение экосистемы озера Севан в целом, включая его водосборную площадь. Такой системный подход признан в настоящее время наиболее актуальным и реализуется в международном проекте «Наземно-водные экотоны». В книге приведен большой систематически собранный материал, характеризующий самые различные аспекты единой экосистемы «озеро – водосбор». Многие структурные и динамические характеристики приводится для озера Севан впервые. Ряд многолетних данных по большому числу показателей состояния экосистемы одного из самых крупных высокогорных озер мира имеет уникальное значение, а применительно к проблеме озера Севан делает монографию Р.О. Оганесяна незаменимым практическим пособием.

Данная работа – совместное исследование эвтрофирования и токсификации озера под воздействием хозяйственной деятельности на прилегающей территории. Количественная оценка этой зависимости на разных этапах гидротехнического преобразования озера Севан является несомненным достоинством монографии. В результате проведенных исследований получены характеристики, позволяющие оценить поступление биогенных элементов и токсических веществ (пестицидов, тяжелых металлов) в озеро Севан из населенных мест, коммунального и сельского хозяйства, промышленности, а также с атмосферными осадками. Эти материалы дали возможность расшифровать степень воздействия водосборной площади на внутриводоемные процессы, протекающие в озере, в тесной связи с изменением морфометрических параметров, обусловивших специфику его антропогенного эвтрофирования.

Однако, с нашей точки зрения, наибольшее значение книга приобретает вследствие других обстоятельств. Крайне редко в литературе по региональной гидроэкологии можно встретить систематически проводимую аргументацию о неразрывной связи между фундаментальными проблемами гидроэкологии и ее прикладными аспектами. Убедительно доказано, что сдвиг всех параметров экосистемы озера произошел в начале 1960-х гг., когда уровень воды снижался очень резко и ежегодно осушалась значительная часть его литоральный зоны. Изменения термического режима, круговорота биогенных элементов в сочетании с увеличением антропогенного воздействия, вызванного усилением освоения прилегающих к озеру территорий и развитием народнохозяйственной деятельности на его водосборной площади, привели к возникновению необратимых процессов в биотической части экосистемы. Прежде всего возрос уровень первичного продуцирования органического вещества фитопланктоном и произошло увеличение накопления его биомассы; затем последовали изменения и в остальных звеньях трофической цепи. Все это в конечном итоге привело к развитию процессов эвтрофирования озера Севан, превращению его из олиготрофного водоема в эвтрофный с резким изменением ихтиологического статуса: из форелевого водоема озеро стало сиговым. Фактически проблема озера Севан является одной из кардинальных, известных со времен Тиннемана проблем теоретической лимнологии – связи между морфометрией и трофическим статусом внутренних водоемов. На примере озера Севан исследователи получили уникальную возможность проследить перестройку в различных «блоках» и в экосистеме в целом при разнонаправленных (осуществляемых искусственно) изменениях средней глубины большого димиктического озера. Установление количественных зависимостей между абиотическими и биотическими параметрами экосистемы озера Севан, включая его водосборную площадь, дало возможность создать и осуществить численную реализацию математической модели экосистемы озера, в частности режима биогенных элементов и первичной продукции как ключевых моментов эвтрофирования, а также математической модели управления качеством воды и биопродуктивностью озера с помощью повышения уровня и уменьшения поступления веществ с водосборной площади. Одновременно своеобразное звучание приобретают такие кардинальные проблемы, как устойчивость, стабильность экосистемы, обратимость ее состояния при попытках антропогенного деэвтрофирования. Эти вопросы крайне важны в связи с тем, что они должны служить надежной основой для рекомендуемых сложных и дорогостоящих мероприятий по замедлению эвтрофирования озера Севан и оптимизации природопользования в его водосборном бассейне.

Следует отметить, что исследование озера Севан представляет значительный интерес и для сравнительно новой отрасли гидроэкологии – теории

водохранилищ, и в более широком плане – для изучения водоемов с изменяющейся морфометрией. Последнее обстоятельство, учитывая глобальную тенденцию увеличения потребности в пресной воде, придает исследованиям на озере Севан перспективность.

Результаты деятельного теоретического анализа в монографии тесно увязаны и используются для решения прикладных задач. Необходимо выделить ретроспективный анализ качества воды озера Севан по гидробиологическим показателям и полученные различными способами прогностические оценки эволюции экосистемы. Особое внимание привлекает обоснование необходимости повышения уровня озера как наиболее радикальной меры для замедления его эвтрофирования, а также попытка оценки с гидроэкологических позиций минимально необходимой величины повышения уровня.

Можно констатировать, что монография Р.О. Оганесяна становится заметным явлением в мировой лимнологической литературе, значительным вкладом в решение проблемы озера Севан. Книга будет полезна гидробиологам, экологам широкого профиля, водохозяйственникам и другим специалистам, занимающимся проблемами перераспределения речного стока и управления озерами и водохранилищами.

Леонид Михайлович Сущеня,
Президент АН Республики Беларусь,
академик АН Республики Беларусь,
член-корреспондент АН России

ГЛАВА 1
ИСТОРИЯ ПРОБЛЕМЫ ОЗЕРА СЕВАН

Республика Армения – одна из наиболее маловодных в СНГ, поэтому здесь проблема рационального использования воды стоит особенно остро. В республике имеется более ста небольших озер и водохранилищ, площадь которых составляет, как правило, несколько десятков гектаров, и лишь немногие из водоемов имеют площадь в несколько квадратных километров. Водоемы эти неглубокие – средняя глубина составляет 10 м. Озера и водохранилища Армении не имеют ледникового питания, их наполнение происходит за счет дождевых и талых вод.

Крупнейшим водоемом Армении и всего Кавказа является озеро Севан – единственный мощный источник пресной воды, который всегда имел, имеет и будет иметь исключительно важное значение в развитии экономики республики.

На основе энергии севанских вод электрифицированы города и сёла и развернулась мощная индустриализация республики. Воды Севана дали жизнь знойным пустыням Араратской долины, где стало возможным развитие интенсивного сельского хозяйства. На берегах красивого озера расположились курорты, дома отдыха и пансионаты для туристов всего мира.

Озеро Севан всегда привлекало внимание исследователей – благодаря высокогорному расположению (1916 м над уровнем Балтийского моря[1]), большому объему (58,5 км^3) и наличию ценных пород эндемических рыб.

Особенно заманчиво было найти эффективные пути использования его водных и рыбных ресурсов. Теоретические разработки в этом направлении начались еще в XIX в., в частности выдвигались проекты ирригационно-энергетического использования вод озера без изменения его естественного режима.

В 1848 г. был поднят вопрос об использовании вод озера для орошения земель, расположенных по левому берегу реки Раздан [Памятная книга Эриванской губернии, 1902].

В 1910–1915 гг. появляются несколько проектов: Стюарта, предлагавшего выведение вод озера через туннель на север для орошения земель

[1] Далее будет использоваться сокращение НУБМ.

южной части бассейна р. Куры; Завалишина [1929], предлагавшего использовать воды озера для орошения земель Араратской долины путем понижения его уровня более чем на 20 м; Серьяна (Манасерьяна) [1910], который доказывал целесообразность использования севанских вод для орошения земель Араратской равнины и выработки электроэнергии по течению р. Раздан. Последний проект в дальнейшем полностью поддержал и развил И.В. Егиазаров [1923].

Ориентировочные расчеты вышеуказанных исследователей показали, что в естественных условиях основная часть поступающего в бассейн притока (реки и осадки) испарялась, а через р. Раздан вытекало 5 % всего притока. Поэтому уже тогда была выдвинута идея: путем понижения уровня озера Севан и сокращения площади его зеркала уменьшить испарение и сэкономленные воды использовать для нужд народного хозяйства.

Практически осуществление указанных проектов и возникновение «севанской проблемы» началось в 1927 г., когда Совет Труда и Обороны СССР обратился в АН СССР с просьбой о всестороннем исследовании вод озера Севан и выявлении потенциальной возможности использования вод озера для ирригационно-энергетических целей. Соответствующий проект был разработан (1927–1930 гг.) Закавказской комиссией АН СССР под председательством академика Левинсона-Лессинга [1929].

В 1931 г. была составлена первая схема использования вод озера. Ежегодно с поверхности озера испарялось 1150 млн м^3 воды, то есть примерно 85–90 % всего прихода. Именно этот факт дал основание для утверждения проекта, по которому предполагалось в течение 50 лет использовать вековые запасы севанских вод, понизив уровень озера на 50 м, выпуская ежегодно 1025 млн м^3 воды (650 млн м^3 – для энергетических целей и 375 млн м^3 – для орошения). После понижения уровня на 50 м в чаше Малого Севана осталась бы озеро площадью 239 км^2; осушенное дно Большого Севана предполагалось использовать как посевную площадь. В этих условиях естественный сток через р. Раздан возрос бы с 50 млн до 697 млн м^3 в год, то есть в 14 раз. Эти воды должны были оросить земли Араратской равнины и предгорных районов (130 тыс. га), одновременно вырабатывая на ГЭС Севан-Разданского каскада большое количество электроэнергии.

Реализация искусственных попусков из озера по этому проекту началась в 1933 г. Это время можно считать началом первого этапа севанской проблемы. Более интенсивное использование севанских вод началось с 1937 г.

Благодаря Севан-Разданскому ирригационно-энергетическому комплексу в экономике Армении произошли глубокие структурно-функциональные сдвиги. Возник ряд энергетических производств в отраслях промышленности (цветной металлургии, машиностроении, химической промышленности и др.), бурно развивалось сельское хозяйство.

В конце 1950-х гг. стало ясно, что намеченная программа понижения уровня озера на 50 м по ряду причин требует коренного уточнения.

1. Освоить обнаженные почвогрунты для сельского хозяйства не удалось, так как почвообразование протекало с преобладанием окислительных процессов, грунт имел песчаный механический состав и был беден гумусом; сильно развивались эрозионные процессы.

2. Выяснилось, что севанской энергии недостаточно для дальнейшего развития экономики Армении, и поэтому в связи со строительством в республике других ГЭС, ГРЭС и АЭС создалась реальная возможность прекращения круглогодичных попусков воды из озера для энергетических нужд и использования водных ресурсов озера только для ирригационных целей.

3. Расчеты показали, что к концу XX в. республике будут практически исчерпаны источники воды для расширения систем хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, и в этих условиях озеро Севан является единственным гарантированным источником указанных видов водоснабжения.

Учитывая вышеприведенные соображения, а также угрозу частичного уничтожения такого уникального водоема, как озеро Севан, Академией наук Армянской ССР в 1947–1961 гг. были выполнены новые теоретические, экспериментальные и натурные исследования, результаты которых были опубликованы в трехтомнике «Результаты комплексных исследований по севанской проблеме» [1961].

Основываясь на полученных материалах, была полностью пересмотрена первоначальная схема использования вод озера и принято постановление о сохранении уровня Севана ближе к естественному («Об энергетической базе народного хозяйства АрмССР», постановление Совета Министров СССР от 30 мая 1958 г. № 585, ЦК КП Армении и Совета Министров СССР от 1 июля 1958 г.). Попуски воды из озера были ограничены на уровне 500 млн м^3 в год, из них для орошения – 380 млн м^3, для энергетики – 120 млн м^3. ГЭС Севан-Разданского каскада стали работать не на полную мощность, а в основном по графику орошения. К этому времени (1959 г.) уровень озера понизился на 13,7 м.

Положительным моментом сокращения попусков вековых запасов воды из озера в этот период явилось уменьшение дефицита водного баланса озера (дефицит определяется объемом сработки вековых запасов и зависит от высоты стояния уровня воды в озере, на котором будет остановлено дальнейшее его понижение), в то же время существующий Севан-Разданский каскад ГЭС мощностью 300 МВт не мог быть использован эффективно.

В это время возник второй этап севанской проблемы – идея использования полной мощности Севан-Разданского каскада за счет вод, перебрасываемых в озеро Севан из соседних бассейнов. Поэтому в 1961 г. было принято решение о переброске в Севан части стока р. Арпа, протекающей

за Варденисским горным массивом (250 млн м^3 в год), через туннель длиной 48 км, а в 1962 г. было решено не допустить снижения уровня озера более чем на 18 м (до отметки 1898 м НУБМ) от его естественного доспускового уровня (постановление ЦК КП Армении и Совета Министров СССР № 381 от 8 августа 1962 г.).

Установление данной предельной величины (18 м) было связано со сроками строительства дополнительных водохозяйственных объектов в других регионах республики и сроками строительства туннеля Арпа – Севан, после ввода которых стала бы возможна стабилизация уровня озера на отметке 1898 м НУБМ. Строительство туннеля Арпа – Севан, по своим масштабам единственного и уникального в мировой практике гидротехнического сооружения, началось в 1963 г. и планировалось завершить в 1973 г., но по ряду причин закончилось лишь в 1981 г.

Тем временем уровень озера продолжал снижаться, и в 1980 г. его понижение достигло 18,5 м, площадь озера сократилась на 12,2 %, а объем – на 42,2 %.

При разработке и реализации проектов по использованию водных ресурсов озера Севан всерьез не рассматривался важнейший научный и практический вопрос: как повлияет уменьшение глубины (и объема) озера на функционирование его экосистемы, в частности на процессы, формирующие качество воды и рыбопродуктивность.

Хотя еще в 1929 г. были высказаны опасения [Тихий, 1929] относительно отрицательных гидроэкологических последствий спуска вод озера, но, к сожалению, никто из авторов последующих проектов не обратил на это серьезного внимания. Это свидетельствует о доминировании технократического подхода к использованию водных ресурсов озера Севан.

Вместе с тем за период искусственного понижения уровня озера Севан существенные изменения произошли также в его бассейне: в несколько раз выросло население (в основном за счет городского), развились такие виды экономической деятельности, как промышленность, строительство, транспорт, сельское хозяйство. Несравнимо увеличился объем сточных вод, насыщенных биогенными элементами, солями тяжелых металлов, различными ядохимикатами, – в связи с применением органических и минеральных удобрений и химических средств борьбы с сельскохозяйственными вредителями, а также с животноводческих комплексов и ферм промышленного типа. По данным Госкомитета Совета Министров АрмССР по использованию и охране поверхностных и подземных водных ресурсов, из-за неполной канализированности сточные воды (30–50 м^3 сут.) от 150 населенных пунктов и промышленных предприятий севанского бассейна разными путями без очистки попадали в Севан. В Севан сбрасываются сточные воды пансионатов, домов отдыха, санаториев; загрязнение происходит стихийно, разрозненными мелкими объектами ведомственного подчинения.

Немаловажное значение имел также интенсивный и неконтролируемый забор воды из притоков, который привел к их значительному обмелению, особенно в весенне-летний период. Исчезновение береговых зарослей озера Севан, осушение болот озера Гилли, интенсификация неорганизованного туризма привели практически к полному исчезновению нерестилищ, кормовых угодий рыб и гнездовий водоплавающих птиц (из 90 видов водно-болотных птиц в настоящее время гнездятся только 4 вида).

Как и следовало ожидать, вышеуказанные крупномасштабные морфометрические и гидрологические изменения озера Севан и параллельно с ними растущее антропогенное загрязнение севанского бассейна привели к постепенно нарастающим глубоким и отрицательным лимнологическим последствиям – повышению трофического статуса Севана, который в естественном состоянии был малопродуктивным олиготрофным водоемом с огромными запасами чистой воды питьевого качества, где обитала ценнейшая порода эндемических рыб – севанская форель, промысел которой составлял 400–500 т в год.

Первые признаки эвтрофирования озера Севан – «цветение» воды, вызванное развитием синезеленых водорослей, – зафиксированы в 1964 г. [Легович, 1968].

В дальнейшем эвтрофирование озера прогрессировало, происходила олиготрофно-эвтрофная сукцессия, сопровождавшаяся дестабилизацией всех процессов в экосистеме Севана, следствием чего явилось значительное ухудшение качества его вод.

Стало ясно, что научно обоснованное решение севанской проблемы возможно только на основании глубокого изучения экологических механизмов функционирования озерной экосистемы и их перестройки в результате существенного изменения морфометрии водоема.

Учитывая отсутствие многих важнейших показателей состояния экосистемы озера, нами еще в 1974 г. была разработана программа исследований, обычно планируемая для впервые изучаемых водоемов. Программа основывалась на продукционно-балансовом подходе и ставила своей целью:

– изучение продукционно-биологических характеристик основных звеньев трофической сети озера;

– изучение круговорота важнейших биогенных элементов и тяжелых металлов;

– изучение качественного и количественного влияния антропогенной деятельности в водосборном бассейне Севана на экосистему озера.

Выполнение указанных исследований должно было стать научной основой для оценки современного состояния экосистемы озера Севан, разработки экологического прогноза и мероприятий, направленных на замедление его эвтрофирования.

Если на ранних этапах севанской проблемы превалировала задача рационального использования вод Севана, то теперь первостепенное

значение приобрела проблема самого озера – восстановление его водных и рыбных ресурсов.

Таким образом, можно выделить третий этап севанской проблемы: наряду с проблемой использования природных ресурсов озера Севан остро встала проблема их охраны и воспроизводства.

Предложение Севанской гидробиологической станции (СГБС) АН Армении о необходимости повышения уровня Севана для замедления и дальнейшего предотвращения эвтрофирования озера было одобрено Президиумом АН АрмССР, ГКНТ СМ СССР, Советом Министров АрмССР, и при их активном содействии Советом Министров СССР было принято два постановления, имеющих важное значение для водного, рыбного и народного хозяйства Армении в целом:

1. «О мерах по дальнейшему развитию и повышению эффективности орошаемого земледелия в Армянской ССР» (№ 925 от 13 октября 1977 г.), в котором предусматривалось строительство водохранилищ на р. Раздан и в других регионах республики для уменьшения попусков из озера Севан, а также комплекса гидротехнических сооружений по дополнительной переброске стока р. Воротан (165 млн м^3) в бассейн р. Арпа и далее в озеро Севан.

2. «О мерах по охране и рациональному использованию природных ресурсов озера Севан» (№ 812 от 28 сентября 1978 г.; ЦК КП Армении и Совета Министров АрмССР № 204 от 18 апреля 1977 г. и № 41 от 24 января 1979 г.), в котором планировалось проведение целого ряда водохозяйственных и других мероприятий, направленных на повышение уровня озера, улучшение его экологического режима. Дано соответствующее поручение многим министерствам СССР и намечена разработка программы комплексных научных исследований по севанской проблеме.

Государственный комитет СССР по науке и технике при СМ СССР постановлением от 3 августа 1979 г. за № 396 утвердил «Программу работ на 1979–1985 гг. по проведению комплексных исследований, связанных с определением оптимального уровня воды озера Севан, сохранением ее качества, рационального использования и воспроизводства естественных богатств его бассейна». Головной организацией по проблеме был назначен Институт озероведения АН СССР. Приказом Минводхоза СССР функция генерального проектировщика была возложена на институт «Союзгипроводхоз» им. Е.Е. Алексеевского.

Таким образом, постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР севанская проблема с 1978 г. из республиканской стала проблемой союзного масштаба.

Обобщая сказанное, считаем, что для всестороннего понимания причин возникновения и развития третьего этапа севанской проблемы – эвтрофирования озера Севан, – а также для возможного прогнозирования направления гидроэкологических изменений в озере при планируемом

подъеме его уровня необходим системный лимнологический подход, основанный на комплексной оценке внутриводоемных процессов и степени воздействия водосборного бассейна на процесс эвтрофирования озера Севан по обобщенной схеме, которая приводится ниже (рис. 1).

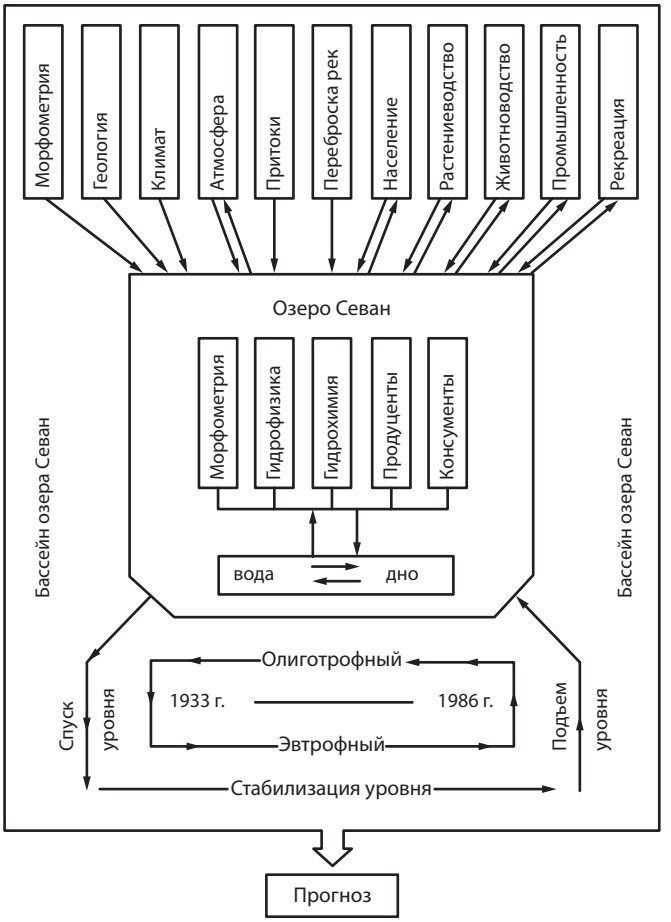


Рис. 1. Схема изучения антропогенного воздействия на озеро Севан
Fig. 1. Scheme of study of anthropogenic influence on Lake Sevan

ГЛАВА 2
ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН

Географическое расположение и история формирования бассейна озера Севан

Озеро Севан расположено в северо-восточной части Армении между 40°9′ и 40°38′ северной широты и 62°36′ и 63°19′ восточной долготы (рис. 2).

Бассейн озера Севан представляет собой огромную тектоническую впадину, замкнутую со всех сторон горами, за исключением северо-западной части у города Севан, где водораздельная линия бассейна снижается до уровня озера и берет начало единственный исток озера – река Раздан. Бассейн озера Севан ограничен с запада Гегамским, с юга Варденисским, с востока Севанским и с северо-востока – Арегуни-Памбакским горными массивами и хребтами (рис. 3).

Границей бассейна озера Севан на западе и юге является водораздел бассейна р. Аракс, а в остальной части – водораздел бассейна р. Куры. Озеро Севан принадлежит бассейну реки Аракс и связано с последней вытекающей из него единственной рекой Раздан, являющейся самым большим притоком Аракса в пределах Армении (рис. 4).

Об истории и палеогеографическом времени формирования бассейна озера Севан высказаны различные суждения [Анучин, 1896; Обручев, 1908; Марков, 1911; Ляйстер, 1914; Габриелян, 1946; Асланян, 1947; Варданянц, 1948; Леонтьев, 1945, 1949; Паффенгольц, 1950; Милановский, 1952 и др.], однако единого мнения о времени образования и начале развития впадин Малого и Большого Севана, как и озера в целом, пока нет.

На наш взгляд, наиболее приемлемой является концепция С.Г. Саркисяна [1962]. Суть ее состоит в следующем. Горные массивы, ограничивающие бассейн Севана, по Леонтьеву [1945, 1949], образовались еще в триасе. Формирование Севанской впадины было связано с интенсивными тектоническими движениями, происходившими на территории Армении в конце плиоцена (около 5 миллионов лет назад) – начале постплиоцена [Милановский, 1952; Габриелян, 1956]. В среднем постплиоцене Севанская впадина (будущее дно Севана) уже была покрыта сетью рек и мелких пресноводных озер (рис. 5).

Рис. 2. Географическое положение озера Севан
Fig. 2. Geographical location of Lake Sevan

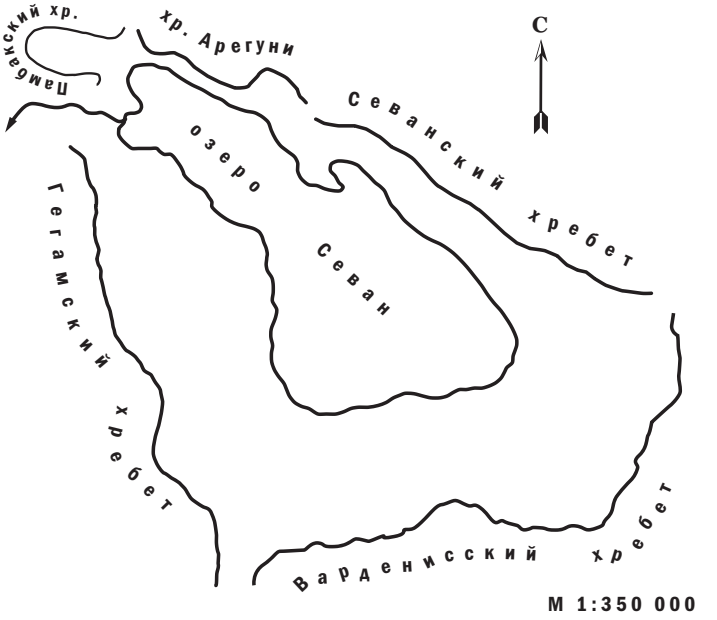


Рис. 3. Бассейн озера Севан
Fig. 3. Lake Sevan Basin

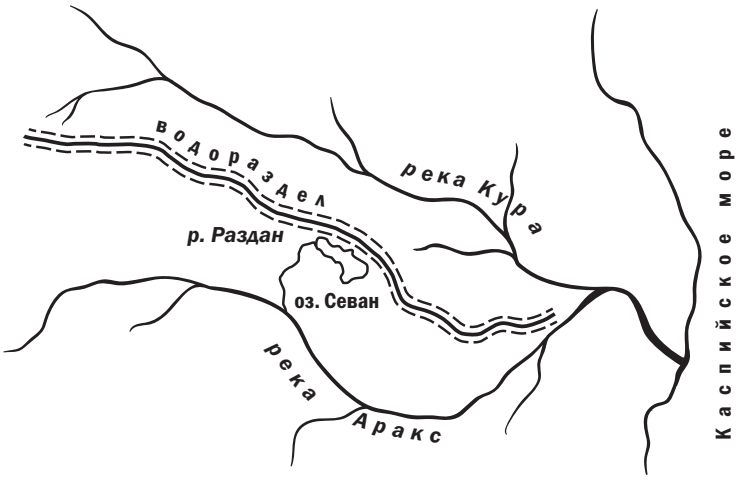


Рис. 4. Схема бассейна р. Куры и водосборной территории р. Аракс
Fig. 4. Scheme of the Kura River Basin and the Araks River water catchment area

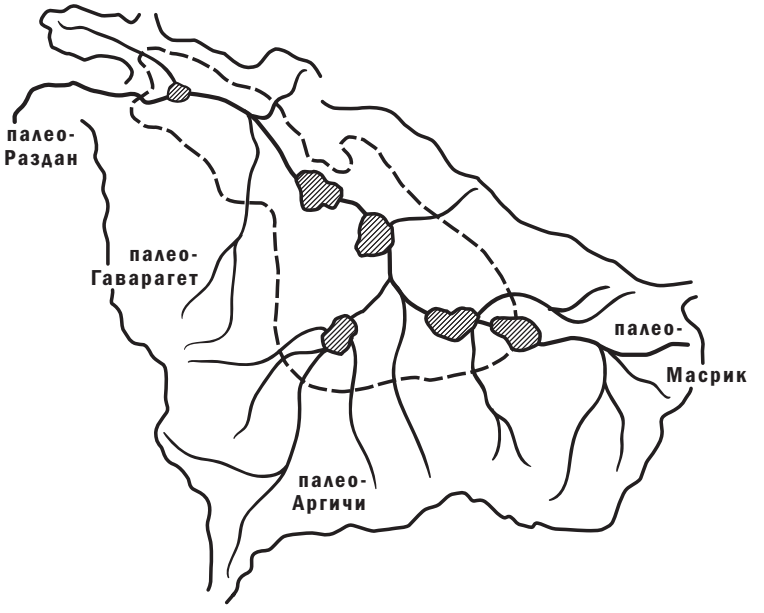


Рис. 5. Севанская впадина в постплиоценовое время [Саркисян, 1962]
Fig. 5. Sevan Depression in the post-Pliocene times [Sargkisyan, 1962]

В верхнечетвертичное время в результате новых тектонических поднятий происходило формирование Баязетского (Баязет – современный г. Камо) поперечного вала, от мыса Норадуз до полуострова Арданиш, который и стал причиной, а также первым этапом образования и наполнения палео- Большого Севана за счет рек, протекавших по этой части Севанской впадины (рис. 6).

После наполнения палео- Большого Севана, в конце верхнечетвертичного времени, начинается второй этап формирования озера Севан. Переливающиеся через Баязетский вал в сторону будущего палео- Малого Севана воды разрушают в средней части Баязетский вал; в дальнейшем происходило углубление русла и образование реки палео-Раздан, вытекающей из палео- Большого Севана в сторону Западной Армении (рис. 6).

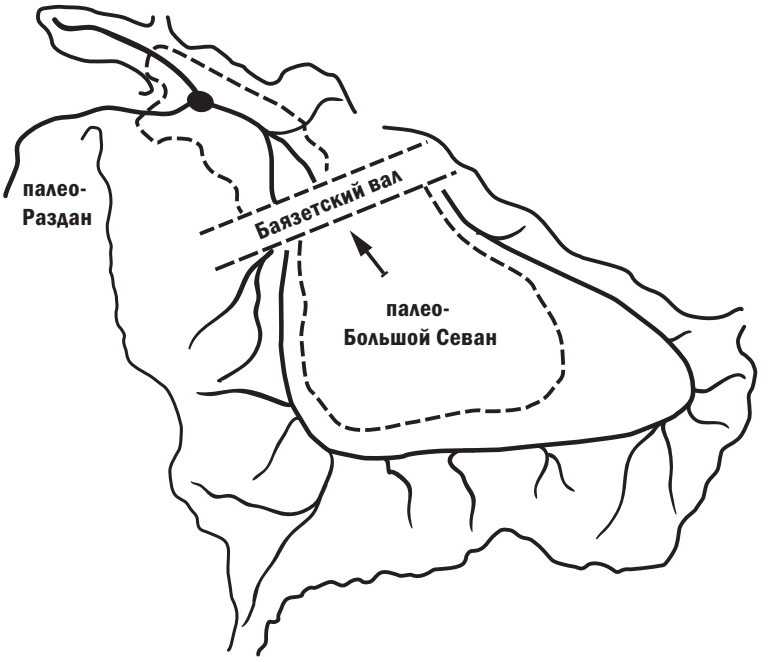


Рис. 6. Озеро Севан в верхнечетвертичное время (1-й этап). Образование палео-Большого Севана и палео-Раздана [Саркисян, 1962]

Fig. 6. Lake Sevan in the Upper Quaternary period (1st stage). Formation of paleo-Major Sevan and paleo-Hrazdan [Sargkisyan, 1962]

В конце верхнечетвертичного времени (третий этап) в 25–35 км от Баязетского вала западнее по реке палео-Раздан, вследствие излияния лав из горной вершины Богудаг, было перекрыто русло палео-Раздана, создана естественная плотина, следовательно, и условия для наполнения и образования палео- Малого Севана (рис. 7).

В период таяния ледников происходило окончательное соединение палео- Малого и Большого Севана, а прорыв Богудагской плотины образует современное русло реки Раздан (рис. 7).

Таким образом, тектонические движения и излияния лавы явились причиной образования Севанской впадины (верхняя юра – нижний мел), а в четвертичном времени произошло окончательное формирование современного бассейна и самого озера Севан (25–30 тысяч лет [Асланян, 1947]), состоящего из двух частей – Большого и Малого Севана, – отличающихся как по времени образования, так и по происхождению.

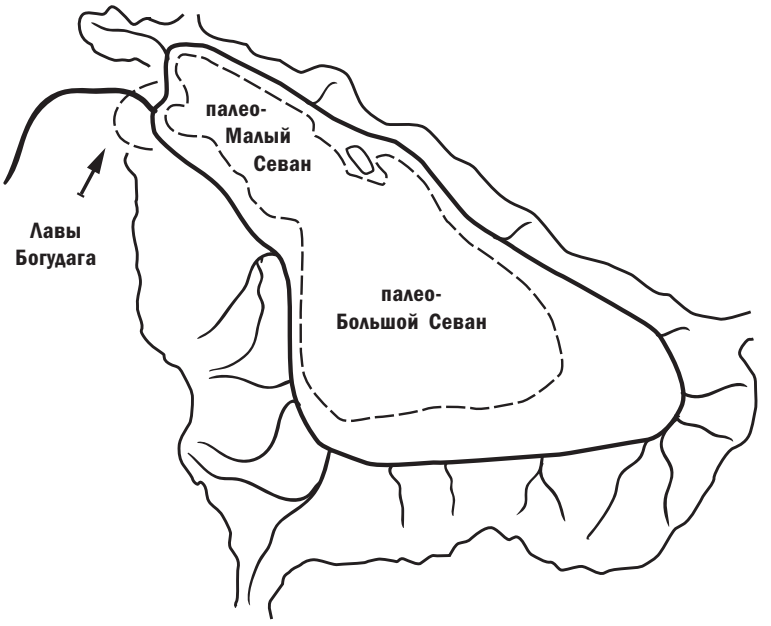


Рис. 7. Озеро Севан в конце верхнечетвертичного времени. Образование палео-Малого Севана, озера Севан в целом и реки палео-Раздан [Саркисян, 1962]

Fig. 7. Lake Sevan in the Late Upper Quaternary period. Formation of the paleo-Minor Sevan, entire Lake Sevan, and the paleo-Hrazdan River [Sargkisyan, 1962]

Орография

Современная площадь водосбора Севана, включая площадь озера, составляет 4891 км^2, а общая протяженность водораздельной линии около 400 км (рис. 8). До искусственного понижения уровня озера (до 1930 г.) площадь его зеркала составляла 1416 км^2, а площадь водосборного бассейна – 3475 км^2. Отношение общей площади бассейна (с учетом акватории озера) к площади зеркала озера равнялось 3,45, а отношение собственно площади водосборного бассейна к площади зеркала – 2,45.

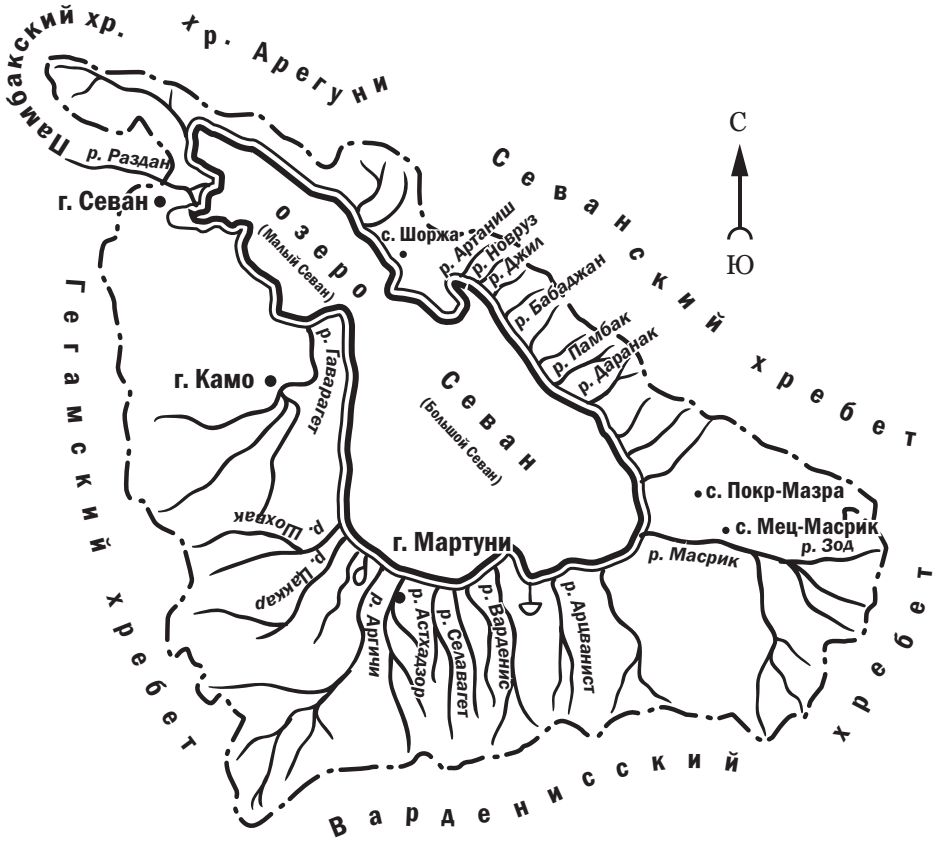


Рис. 8. Речная сеть бассейна озера Севан
Fig. 8. River network of Lake Sevan Basin

После снижения уровня площадь водосборного бассейна увеличилась на 172 км^2 (на 5 %) и составила 3647 км^2, а площадь зеркала составила 1244 км^2, то есть уменьшилась на 12,2 %. Отношение общей площади бассейна к площади зеркала озера увеличилось до 3,93, а отношение площади водосборного бассейна к площади зеркала озера – до 2,93. Изменение площадей водосборного бассейна и зеркала озера при спуске воды на 5,0; 10,0; 15,0 и 19,0 м и их процентное соотношение приведено в таблице 1.

Как было описано выше, по происхождению и орографии озеро Севан состоит из двух частей – Малого и Большого Севана, границей между ними служит Норадуз-Арданишская подводная возвышенность. В естественных условиях (до спуска вод озера) площадь зеркала Малого Севана составляла 384 км^2, Большого – 1032 км^2. После понижения уровня озера на 18,8 м площадь Малого Севана составляла 328 км^2, Большого – 916 км^2.

Таблица 1. Изменение некоторых морфометрических показателей бассейна и акватории озера Севан (до понижения уровня и после). В скобках – доля (%) от площади соответствующих склонов бассейна

Бассейн озера Севан*, горные массивы и площадь зеркала озера	Площадь склонов до понижения уровня озера, км²	Увеличение площадей склонов при различных величинах понижения уровня озера, м					Площадь склонов после понижения уровня озера на 18,8 м
		5,0** / 5,0	+5,0 / 10,0	+5,0 / 15,0	+3,8 / 18,8	Сумма	
Гегамский	1014	25,0	20,0	25,0	20,0	90,0	1104
Варденисский	1877	10,0	15,0	20,0	10,0	55,0	1932
Севанский	360	5,0	5,0	5,0	3,0	18,0	378
Арегуни-Памбакский	224	3,0	2,0	2,0	2,0	9,0	233
По всему бассейну оз. Севан	3475*	43,0	42,0	52,0	35,0	172,0	3647
Площадь зеркала озера	1416 (10,0)	–43 (–3,0)	–42 (–6,0)	–52 (–10,0)	–35 (–12,2)	–172	1244 (12,2)

* Площадь севанского бассейна составляет 4891 км².

** Цифры над чертой означают отдельные этапы снижения уровня, под чертой – кумулятивную величину снижения.

Высота Гегамского, Варденисского, Севанского и Арегуни-Памбакского горных хребтов, окружающих Севанскую котловину, колеблется от 2200 до 3800 м НУБМ. Средняя высота бассейна составляет около 2350 м НУБМ. До понижения уровня нулевая отметка озера Севан в среднем находилась на высоте 1916,2 м НУБМ. Падение склонов гор к озеру в среднем составляет 50–80 м на 1000 м, с относительным уклоном от 0,130 до 0,350, или от 9°00′ до 19°00′.

В озеро Севан впадает 28 рек: из них 4 – Спитакаджур, Тохпуджа, Дзкнагет и Гаварагет – впадают в Малый Севан, а 24 – Шохвак, Цаккар, Бахтак, Личк, Аргичи, Мартуни, Астхадзор, Золакар, Селавагет, Варденис, Арцванист, Макенис,

Масрик, Шишкая, Саринер, Гюней, Дара, Памбак, Шампырт, Бабаджан, Джил, Дали, Новруз и Артаниш – в Большой Севан (рис. 8). Суммарная площадь бассейнов всех 28 рек составляет 2776 км^2, то есть 80 %, а межбассейновое пространство – 699,0 км^2, то есть 20 % от площади водосборного бассейна озера в целом (см. табл. 10).

Особенности орографического и геологического строения бассейна озера Севан позволяют разделить его на две существенно различающиеся области [Бек-Мармарчев, 1962] (рис. 9):

1) юго-западную и южную;

2) северо-восточную и северную.

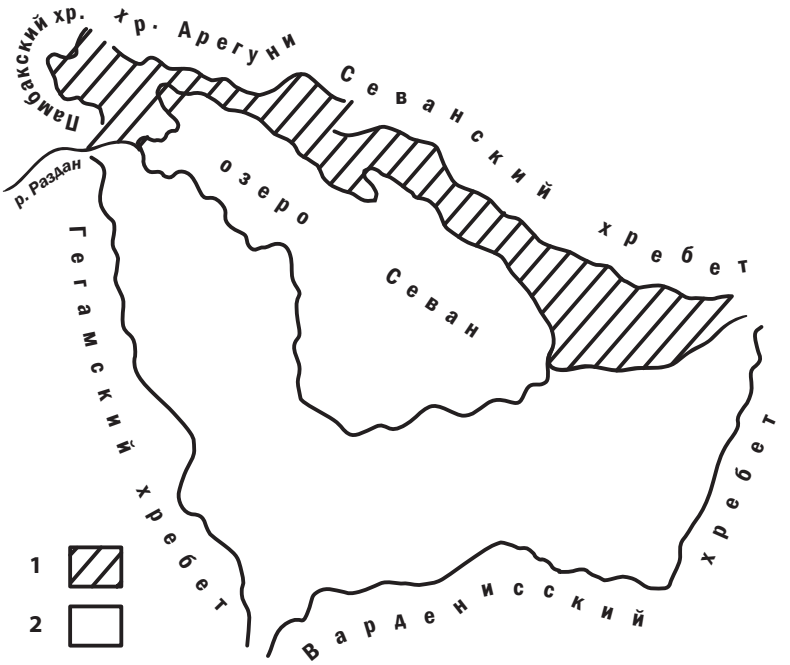


Рис. 9. Геологическое и орографическое строение севанского бассейна:
1 – северо-восточная и северная часть; 2 – юго-западная и южная части
Fig. 9. Geological and orographic structure of Lake Sevan Basin:
1 – North-Eastern and Northern parts; 2 – South-Western and Southern parts

Литологический состав грунтов прибрежной части озера Севан представлен на рисунке 10.

Геологическое строение юго-западной и южной области севанского бассейна характеризуется широко развитыми базальтовыми лавами и различными вулканическими образованиями. Особенностью бассейнов рек является постепенный переход от распластанных берегов к ущельям.

Поверхностный сток рек здесь постоянно нарастает от истоков к устью. Некоторые характеристики горных массивов юго-западной и южной области (площади склонов и характерные уклоны) представлены в таблице 2.

Гегамский горный массив имеет вулканическое происхождение и своим восточным склоном от с. Лчашен до бассейна р. Аргичи охватывает весь западный берег озера Севан (рис. 8, 10). Здесь имеется цепь вулканических вершин, высота которых от 2500 м до 3500 м НУБМ. Наиболее возвышенной частью является его южная половина (вершина Аждаак – 3597 м). Средняя высота Гегамского горного массива около 2500 м НУБМ.

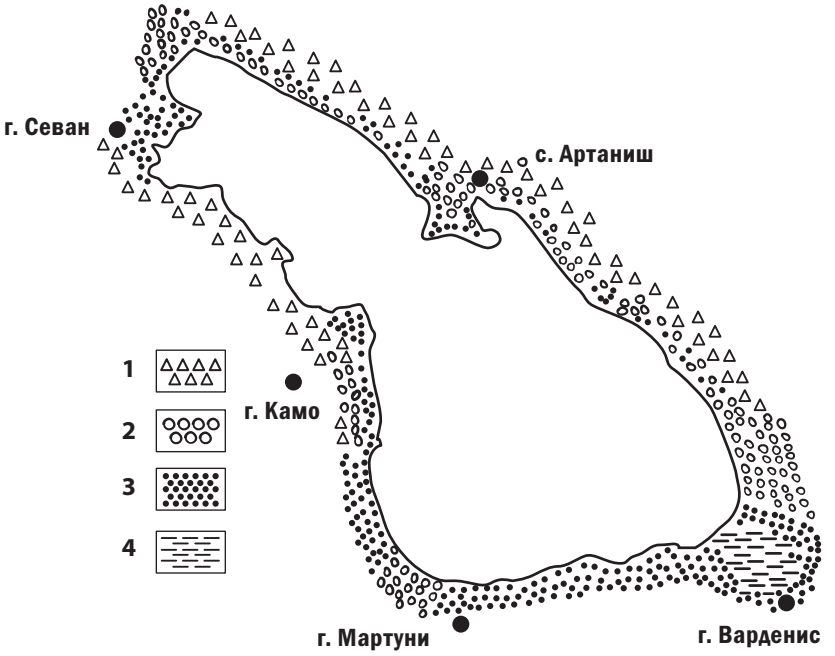


Рис. 10. Схематическая литологическая карта прибрежных отложений озера Севан:
1 – глыбы, угловатые обломки пород, щебень, дресва; 2 – галька и гравий; 3 – пески;
4 – торфяники и торфяные болота [Саркисян, 1962]

Fig. 10. Schematic limnological map of coastal accumulations of Lake Sevan:
1 – Boulders, angular rock debris, crushed stones, and grus; 2 – Pebbles and gravel; 3 – Sands;
4 – Mires and peat bogs [Sargkisyan, 1962]

Площадь водосборного склона Гегамского хребта до понижения уровня озера равнялась 1014 км^2, что составляло 30 % общей площади водосборного бассейна озера (табл. 2).

Поверхностные отложения в этом районе представлены полупроницаемыми наносами, которые создают благоприятные условия для фильтрации выпадающих здесь осадков.

С Гегамского горного массива берут начало 5 рек (см. табл. 6), одна из которых – Гаварагет – впадает в Малый Севан, а остальные реки – Шохвак, Цаккар, Бахтак и Личк – в Большой Севан.

Варденисский горный массив своим северным склоном с общей поверхностью 1977 км^2 охватывает весь южный берег озера Севан от юго-западной границы бассейна р. Аргичи до северо-восточной границы бассейна р. Масрик и составляет около 54,0 % общей площади водосборного бассейна озера Севан в целом (рис. 8, 11; табл. 1, 2).

Таблица 2. Изменение площадей склонов бассейна озера Севан до и после понижения его уровня на 18,8 м (в км^2 и в % от площади бассейна озера)

Бассейн озера Севан и горные массивы	Площадь склонов до понижения уровня озера		Площадь склонов после понижения уровня озера	
	км^2	%	км^2	%
Гегамский	1014	29,2	1104	30,3
Варденисский	1877	54,0	1932	53,0
Севанский	360	10,4	378	10,4
Арегуни-Памбакский	224	6,4	233	6,3
Бассейн озера Севан	3475	100	3647	100

Геолого-морфологические условия этого района являются благоприятными для поверхностного стока выпадающих здесь осадков. Значительное высотное положение, глубокие ущелья, северная ориентация склона способствуют накоплению снежного покрова и медленному таянию его весной, вследствие чего половодье на этом участке растянуто [Зайков, 1933; Саркисян, 1962].

С Варденисского горного массива берут начало 9 рек (табл. 7): Аргичи, Мартуни, Астхадзор, Золакар, Селавагет, Варденис, Арцванист, Макенис и Масрик, – которые впадают в Большой Севан (рис. 8).

Геологическое строение северо-восточной и северной области бассейна озера Севан характеризуется известковыми и туфогенными породами. Территория расчленена длинными и прямыми балками-ущельями, тянущимися от хребтов до самого берега озера. Склоны, обращенные к озеру, имеют большую крутизну, поэтому сток рек стремительно нарастает.

Севанский горный массив своим юго-западным склоном общей площадью 360 км^2 охватывает северо-восточный берег Большого Севана от северо-восточной границы бассейна р. Масрик до р. Спитакаджур и составляет около 10,0 % от общей площади водосборного бассейна озера Севан в целом (рис. 8; табл. 1, 2).

Орогеологические особенности строения Севанского хребта, водные свойства пород и ограниченность территории препятствуют значительному накоплению здесь подземных вод, но создают благоприятные условия для поверхностного стока талых и ливневых вод. Ливневые воды из-за высокой крутизны склонов и небольшого водосбора рек стремительно сбегают с гор и в благоприятных почвенно-геологических условиях способствуют образованию селей (рис. 11).

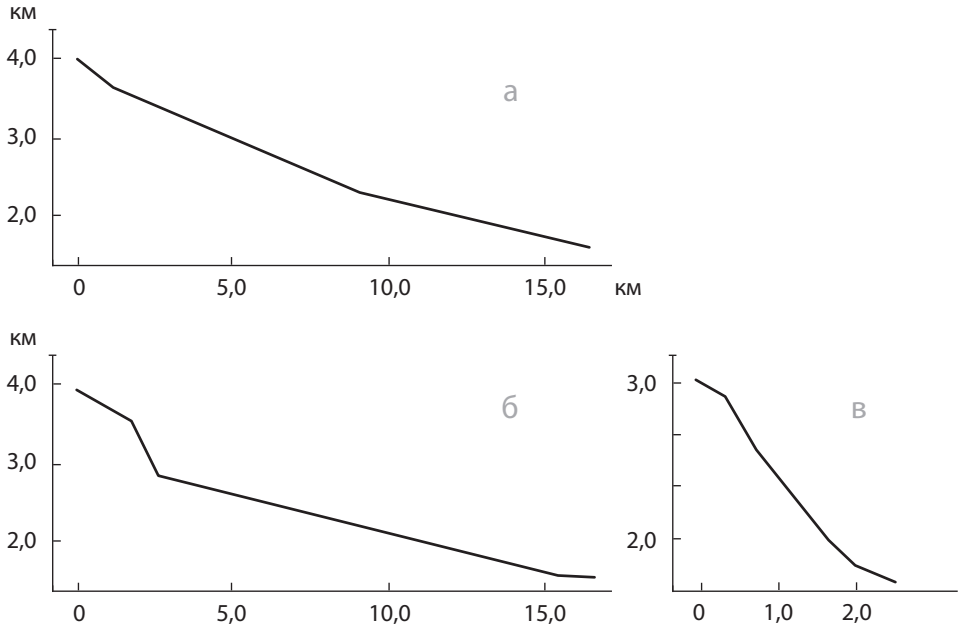


Рис. 11. Профиль северного склона Варденисского (а), восточного склона Гегамского (б) и юго-западного склона Севанского (в) горных массивов от линии водораздела до поверхности озера [Бек-Мармарчев, 1962]

Fig. 11. Profile of the Northern slope of the Vardenis (a), Eastern slope of the Gegham (б), and South-Western slope of the Sevan (в) mountain massifs from the watershed line up to the lake's surface [Bek-Marmarchev, 1962]

С Севанского горного массива берут начало 11 рек и речушек: Шишкая, Саринер, Гюней, Дара, Памбак, Шампырт, Бабаджан, Джил, Дали, Новруз и Артаниш, – которые впадают в Большой Севан (рис. 8; табл. 8).

Арегунийский горный массив своим юго-западным, а Памбакский – южным склонами общей площадью 224 км^2 охватывают северо-восточный берег Малого Севана от р. Спитакаджур до р. Раздан и составляют около 6,0 % от общей площади водосборного бассейна озера Севан (рис. 8; табл. 1, 2).

Указанный район отличается заметным преобладанием в году поверхностного стока, большей частью с временным стоком талых и ливневых вод.

Незначительность площадей питания и водные свойства горных пород исключают возможность накопления здесь значительных количеств подземных вод.

С Арегунийского хребта берут начало две небольшие реки – Спитакаджур и Тохлуджа, а с Памбакского хребта – только одна река Дзкнагет, все они впадают в Малый Севан (рис. 8; табл. 9).

Таким образом, орография бассейна Севана обусловливает ускоренный сток рек и интенсивный вынос различных веществ в озеро.

Климат

Для обобщенной характеристики климата севанского бассейна использованы среднемесячные и среднегодовые значения солнечной радиации, температуры и влажности воздуха, скорости ветра, атмосферных осадков и снежного покрова в период 1930–1984 гг. (архивные материалы Армянского республиканского управления по гидрометеорологии и контролю природной среды и справочники по климату СССР, вып. 16, части I–V, 1973 г.). Все метеорологические измерения проводились на семи стандартных станциях, расположенных в разных частях бассейна озера Севан.

Климат отдельных районов бассейна Аракса, к которому относится и севанский бассейн (рис. 4), отличается большим разнообразием, что обусловлено его географическим положением между Чёрным и Каспийским морями и сильно расчлененным рельефом.

Наряду с резко континентальным сухим климатом Араратской равнины на недалеком от нее расстоянии, в высокогорных областях Армянского нагорья, можно встретить районы, климат которых аналогичен климату горных тундр. Своеобразное взаиморасположение горных хребтов, различия в экспозиции их склонов, наличие глубоких межгорных впадин и хорошо защищенных горных долин являются причиной резко выраженных климатических контрастов даже в пределах одних и тех же высотных зон и в весьма близко расположенных районах [Азатян и др., 1973].

В результате детальных исследований климата Армянского нагорья Багдасаряном [1958] было установлено наличие высотной зональности и выделено 6 вертикальных климатических поясов. Бассейн озера Севан расположен в зоне четвертого, пятого и шестого климатических поясов, характеристики которых приводятся ниже (рис. 12, 18, 19).

Климатический пояс 4. Горно-лесной район (1500–2300 м НУБМ) с умеренно холодным климатом. Осадков выпадает до 400–600 мм с максимумом 80–100 мм в мае. Месячные осадки составляют 40–60 мм. Снежный покров достигает высоты 15–20 см.

Климатический пояс 5. Вулканическое нагорье с горно-степным ландшафтом (2300–3500 м НУБМ). Отличается холодным горно-альпийским климатом. Осадков выпадает до 500–800 мм, максимум в мае – до 120 мм. Месячные осадки составляют 60–80 мм. Зима продолжительная и холодная; снежный покров устойчив и достигает значительной мощности (50–100 см, а на высотах – до 150–160 см).

Климатический пояс 6. Горные тундры, охватывающие гребневую часть горных хребтов (выше 3500 м НУБМ). Здесь господствует холодный климат. Осадков выпадает до 900–1000 мм. Весна холодная и дождливая, длится с начала мая до начала июня. Зима продолжительная (6 месяцев и более), холодная и морозная; снежный покров устойчив. Частые метели.

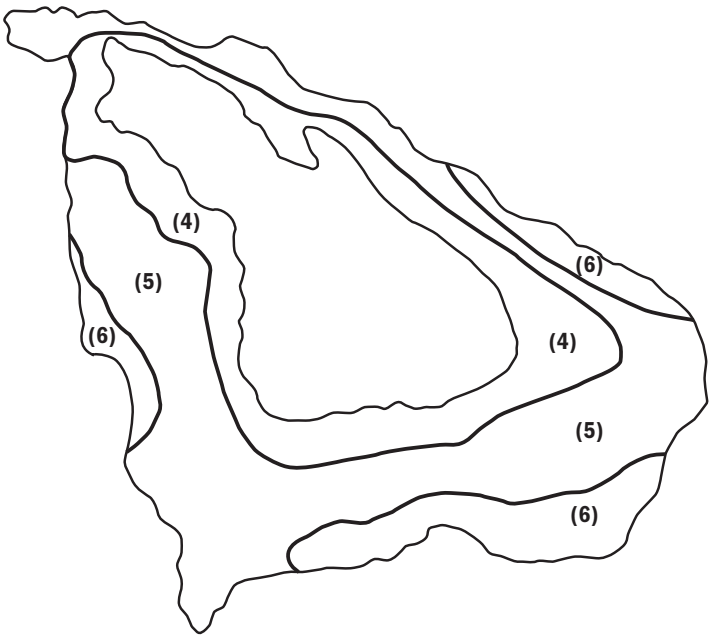


Рис. 12. Климатические пояса севанского бассейна (пояснения см. в тексте)
Fig. 12. Climatic belts of Lake Sevan Basin (see explanations in the text)

Основными факторами формирования климата данного региона являются солнечная радиация и атмосферная циркуляция. Радиационное тепло, поступающее на водную поверхность, является ведущей составляющей в тепловом балансе водоемов и имеет определяющее значение для протекания гидроэкологических процессов. На интенсивность солнечной радиации, помимо географической широты, большое влияние оказывает и абсолютная высота местности над уровнем моря. Известно, что с увеличением высоты расположения озера от уровня моря до 2000 м суммарная поступающая на него радиация возрастает примерно в два раза [Адаменко, 1985].

Эта климатическая закономерность особенно важна для понимания многих гидроэкологических процессов в горных и высокогорных озерах и водохранилищах по сравнению с процессами, протекающими в равнинных водоемах.

Характерные графики среднемесячных и среднегодовых величин суммарной радиации и радиационного баланса бассейна озера Севан приводятся на рисунке 13.

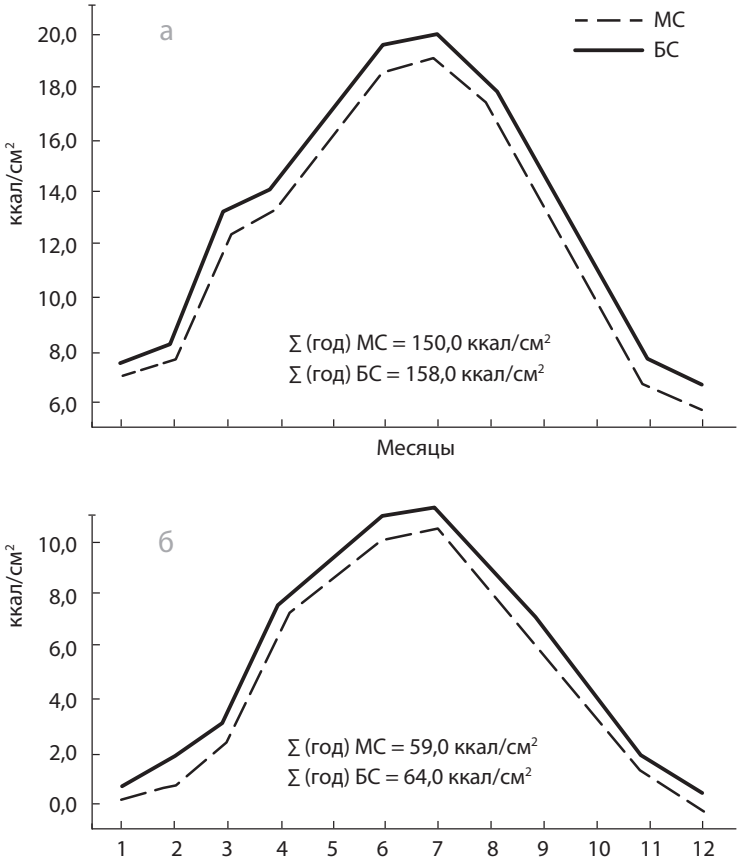


Рис. 13. Средние месячные и годовые величины суммарной радиации (а) и радиационного баланса (б) бассейна озера Севан (1958–1985 гг.). МС – район Малого Севана (Севан, ГМО); **БС** – район Большого Севана (Мартуни). ∑ – величины, рассчитанные за год

Fig. 13. Mean monthly and annual values of the total radiation (a) and radiation balance (б) of Lake Sevan Basin (1958–1985). MC – Minor Sevan Region (Sevan, GMS); БС – Major Sevan Region (Martuni). ∑ – values calculated per year

Исследования в период с 1956 по 1958 г. [Айнбунд, Кириллова, 1961] показали, что величины суммарной радиации и радиационного баланса на Малом Севане в среднем за год на 5–10 % меньше соответствующих величин в Большом Севане (рис. 13).

Величины радиационного баланса береговой части бассейна Севана могут лишь приближенно характеризовать радиационный баланс озера. Летом радиационный баланс Севана превышает радиационный баланс суши на 40 %. В целом за год радиационный баланс озера превышает радиационный баланс суши на 25–35 %, а величина радиационного баланса в его центральной части – на 10–15 % [Айнбунд, Кириллова, 1961].

М.М. Айнбунд и соавт. [1981], анализируя имеющиеся данные по радиационному балансу за 20 лет (1961–1981 гг.), выявили, что радиационный баланс в Малом Севане на 1,9 ккал/см^2 больше, чем в Большом (как мы отметили, в 1951–1960 гг. наблюдалось обратное соотношение). Кроме того, в целом для озера его среднегодовая величина за новейший период на 3–4 ккал/см^2 меньше, чем в 1950-е гг. Авторы вышеуказанные расхождения в какой-то мере связывают с более частым замерзанием озера в годы после понижения уровня, поскольку в годы с ледоставом годовой радиационный баланс уменьшается на 5–10 %.

Изменение соотношения между радиационным балансом Малого и Большого Севана в связи с изменением морфометрии озера и его эвтрофированием отметили также К.А. Мокиевский и соавт. [1984].

Географические особенности бассейна озера Севан оказывают большое влияние на его температурный режим. Сезонная динамика температуры воздуха приводится только для четвертого и нижних границ пятого климатических поясов севанского бассейна, так как они более характерны для бассейна в целом. Самым теплым месяцем является август, когда средняя месячная температура колеблется от 14° (Севан ГМО) до 17° (Мартуни), и самым холодным месяцем – январь со среднемесячной температурой от –8° (Севан ГМО) до –4° С (Мартуни). Среднегодовая температура колеблется от 4° (Севан ГМО) до 6° (Мартуни) (рис. 14).

Большое значение для гидрологических и особенно для гидробиологических процессов имеет время перехода температуры воздуха через 0° весной, связанное с началом снеготаяния и половодья. Даты перехода средних суточных температур воздуха через 0° осенью и весной являются также признаками начала и конца зимы (табл. 3).

Переход средних суточных температур воздуха через 0° весной происходит после первой декады апреля, а осенью – в первой декаде ноября. Продолжительность зимы несколько варьирует, безморозные дни начинаются в мае и кончаются в октябре [Мхитарян и др., 1961; Азатян и др., 1973].

Абсолютная влажность воздуха в севанском бассейне подвержена суточным и годовым колебаниям: наименьшие значения наблюдаются зимой (2,5–3,5 мб, декабрь – февраль), наибольшие – летом (12,0–14,0 мб, июль – август) (рис. 15а, б). Влажность в районе Большого Севана выше, чем в районе Малого Севана. Средняя месячная и годовая относительная влажность воздуха зимой в районе Малого Севана составляет 70–75 %, а в районе Большого Севана – 80–85 %; летом – в пределах 65 % и 75 % соответственно (рис. 15а,б).

Таблица 3. Среднемноголетний период перехода средних суточных температур воздуха от –5° до +5° весной и от +5° до –5° осенью в бассейне озера Севан, усредненных за 1930–1933 гг. [Азатян и др., 1973]

Метеостанция	Весна			Осень		
	–5°	0°	+5°	+5°	0°	–5°
Севан ГМС	Н*/III	Н/IV	К/IV	К/X	С/XI	Н/XII
Шоржа	К/I	К/III	С/IV	Н/XI	Н/XII	С/I
Мазра	Н/III	К/III	С/IV	С/X	С/XI	Н/XII
Мартуни	С/II	К/III	С/IV	К/X	С/XI	К/XII

* Н, С, К – начало, середина и конец месяца соответственно.

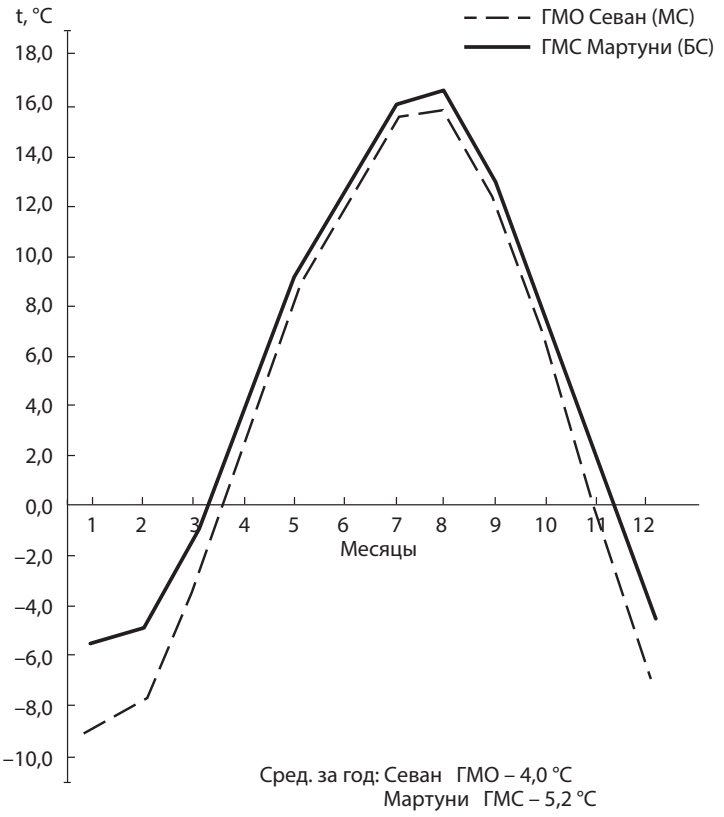


Рис. 14. Среднемесячная и среднегодовая температура воздуха бассейна озера Севан, усредненная за 1930–1983 гг.

Fig. 14. Mean monthly and annual air temperatures in Lake Sevan Basin, averaged for the period of 1930–1983

Большая разница во влажности наблюдается между прибрежной зоной и акваторией озера [Азатян и др., 1973]. У уреза воды озера Севан дефицит влажности в августе составляет 5–6 мб, а в двух километрах от берега на поверхности 6–7 мб. Анализ годового хода влажности воздуха над поверхностью озера начиная с 1927 г. [Давыдов, 1934] показывает, что она практически не изменилась.

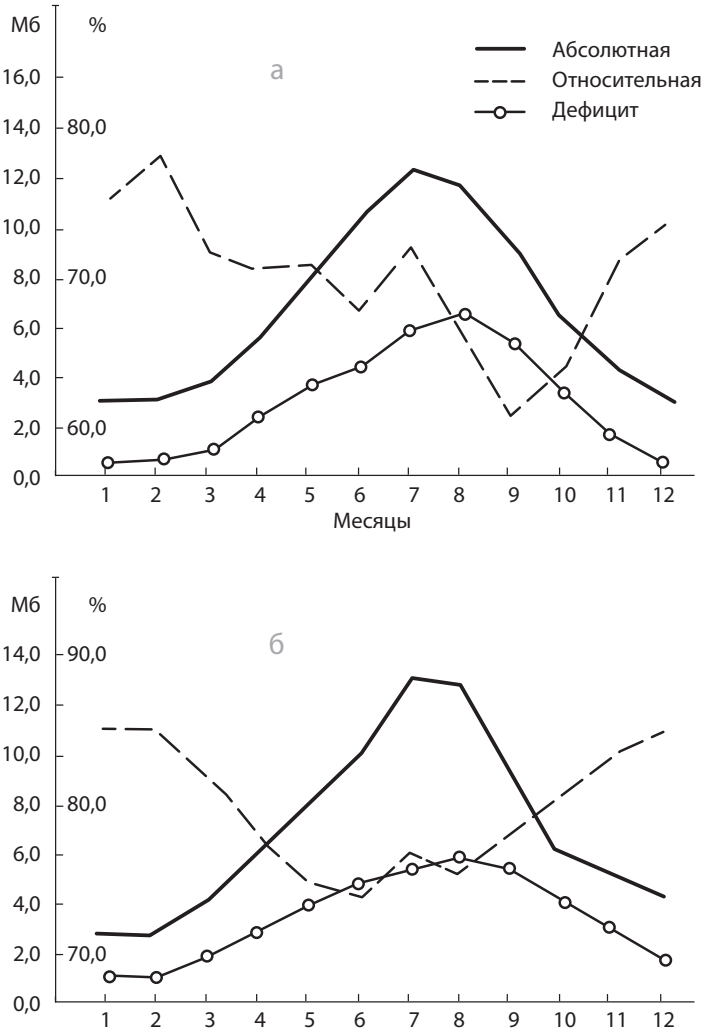


Рис. 15. Многолетние (1936–1984 гг.) среднемесячные значения абсолютной, относительной влажности воздуха и ее дефицита в бассейне озера Севан (а – Севан ГМО, б – Мартуни)

Fig. 15. Long-term (1936–1984) mean monthly values of absolute and relative air humidity and the deficit of air humidity in Lake Sevan Basin (a – Sevan, GMS; б – Martuni)

Бассейн озера Севан относится к наиболее ветреным районам Армении. Рельеф бассейна и большие амплитуды колебания высот обусловливают значительные термические градиенты между высокими горами и межгорными долинами, между сушей и водной поверхностью озера [Азатян и др., 1973]. В связи с этим возникает местная циркуляция: горнодолинные ветры на побережье озера Севан (например на склонах Гегамского хребта) в течение всего года образуют горнодолинную циркуляцию. Здесь направление ветра не имеет четко выраженного годового хода и определяется направлением речных долин. Хорошо выраженный годовой ход направления ветра отмечается на побережье Малого Севана. В севанском бассейне направление ветра меняется по сезонам, но в основном превалируют западные ветры (табл. 4). Преобладающее направление ветров в отдельных районах бассейна озера различное и в основном соответствует направлению окружающих севанскую котловину горных массивов (табл. 5). Наиболее постоянны ветры в юго-западной части озера, что особенно характерно в период с октября по апрель. Эти ветры дуют с гор, прорываясь к озерному побережью по долинам рек. Из таблицы 5 видно, что в Мазре преобладающее направление ветра восточное (42,0 %), в то время как на остальных станциях повторяемость ветров этого направления колеблется от 0,0 до 10,0 %. В Мазре восточные ветры, особенно летом, очень сильные и вызывают значительное волнение озера. В г. Мартуни преобладают юго-западные ветры (52,0 %), а в г. Севан – западные (74,0 %).

Среднемесячная скорость ветра в бассейне озера Севан колеблется от 1,5 до 5,0 м/с. За исключением Масрикской равнины, наибольшие скорости ветра приходятся на зимние месяцы (январь, февраль). Среднемноголетняя скорость ветра составляет летом от 1,5 до 3,0 м/с, зимой – от 3,0 до 5,0 м/с. В районах Малого Севана колебания скорости ветра небольшие – 1,5 м/с (2,5–4,0 м/с), Большого Севана – в два раза больше – 3,0 м/с; летом уменьшаются до 1,0–2,0 м/с, а зимой увеличиваются до 4,0–5,0 м/с (рис. 16).

Анализ многолетних данных позволил выявить уменьшение и последующую стабилизацию на более низком уровне амплитуд сезонных колебаний скорости ветра над озером [Рянжин, 1984]. Это связывается с уменьшением зимнего контраста температур между приводным слоем и окружающей территорией (вследствие более частых ледоставов).

Распределение годовых сумм осадков в бассейне озера Севан в общих чертах соответствует его орографии. Котловинная форма рельефа приводит к тому, что наибольшее количество осадков выпадает на горных хребтах, окружающих озеро; наименьшее – над озером. Осадки над зеркалом озера распределяются также неравномерно, минимальное количество осадков выпадает в районе Большого Севана [Александрян, 1971]. Годовые суммы осадков внутри бассейна изменяются от 250 мм над зеркалом озера до 800 мм (конец мая – июнь) вблизи вершин Гегамского хребта. Среднее количество осадков по всему бассейну составляет около 500 мм в год (рис. 17б).

Таблица 4. Повторяемость месячных и годовых ветров (%) различных направлений в районе Малого Севана (г. Севан, ГМС) [Азатян и др., 1973]

Направление ветра	Месяцы												Среднее за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
С	3	5	7	6	8	11	15	15	18	7	5	3	9
СВ	2	4	8	10	11	23	38	39	26	5	4	2	14
В	1	4	9	24	32	42	33	31	21	6	2	1	17
ЮВ	1	2	4	6	7	7	7	7	4	2	1	1	4
Ю	0	1	1	2	1	1	2	1	3	1	1	0	1
ЮЗ	6	8	11	15	10	4	2	2	8	16	9	6	8
З	63	59	48	31	25	9	2	4	15	51	61	62	36
СЗ	24	17	12	6	6	3	1	1	5	12	17	25	11

Таблица 5. Повторяемость ветра различных направлений (%) в отдельных районах бассейна озера Севан [Мхитарян и др., 1961]

Станции	Направление							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Семёновка	21,0	3,0	6,0	2,0	2,0	11,0	22,0	26,0
г. Севан	7,0	2,0	0,0	0,0	0,0	4,0	74,0	13,0
Севан-остров	6,0	1,0	1,0	0,0	2,0	57,0	23,0	10,0
Камо	28,0	11,0	10,0	5,0	7,0	10,0	17,0	12,0
Мартуни	11,0	8,0	2,0	2,0	14,0	52,0	5,0	6,0
Мазра	4,0	3,0	42,0	4,0	8,0	6,0	21,0	12,0

Большая часть осадков выпадает в теплый период года – с апреля по октябрь (рис. 17а). В эти месяцы на западном и юго-западном побережье озера выпадает в среднем 90 мм, а на восточном и юго-восточном – 70 мм. Минимальное количество осадков за год приходится на январь и декабрь. Как видно из рисунка 17а, помимо основного весеннего максимума осадков отмечается второй – осенний (октябрь – ноябрь).

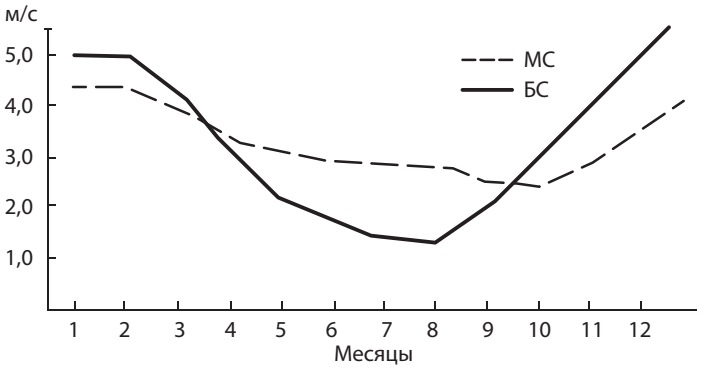


Рис. 16. Средняя месячная скорость ветра (м/с) в бассейне озера Севан, усредненная за 1936–1983 гг. (МС – г. Севан, ГМС; БС – г. Мартуни; высота флюгера 11 м)

Fig. 16. Mean monthly wind velocity (m/s) in Lake Sevan Basin, averaged for the period of 1936–1983 (МС – Sevan, GMS; БС – Martuni; weathercock's (weather vane) height is 11 m)

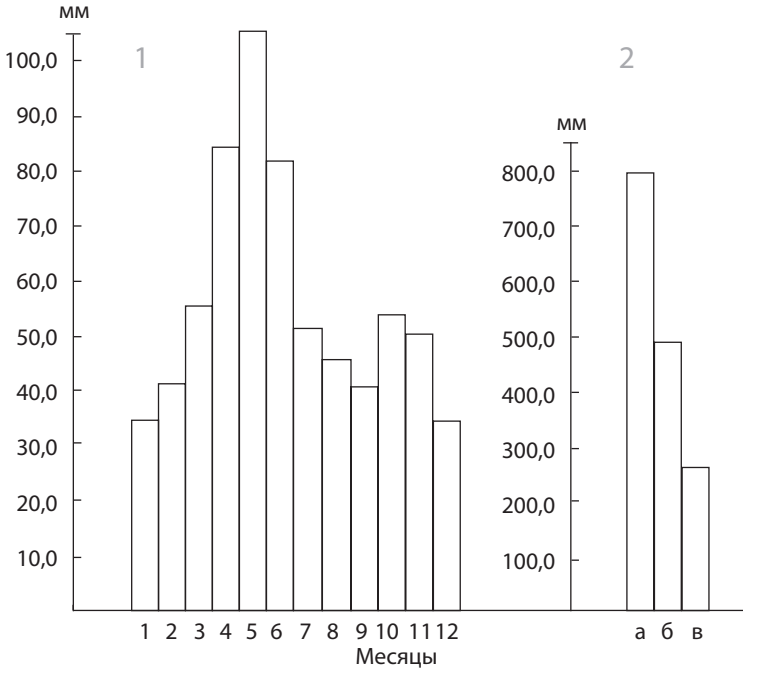


Рис. 17. (1) – внутригодовой ход атмосферных осадков (в среднем за 1936–1983 гг.); (2) – наибольшее (а), среднее (б) и наименьшее (в) количество атмосферных осадков в бассейне Севана

Fig. 17. (1) – intra-annual value of precipitations (averaged for the period of 1936–1983); (2) – the highest (а), mean (б), and the lowest (в) values of precipitations in Lake Sevan Basin

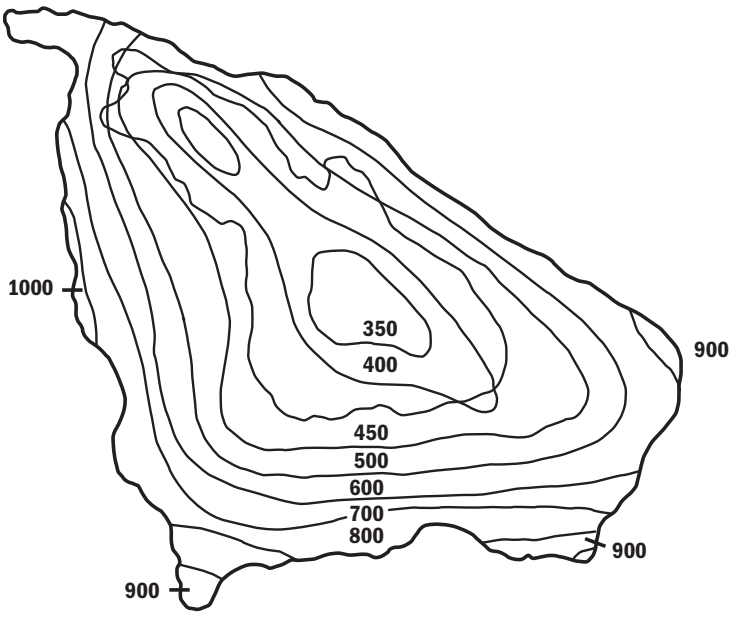


Рис. 18. Распределение среднегодовых сумм осадков (мм) в бассейне озера Севан за многолетний период (1936–1983 гг.)

Fig. 18. Distribution of mean annual totals of precipitations (mm) in Lake Sevan Basin for the long-term period (1936–1983)

С гидроэкологической точки зрения большое значение имеет величина поверхностного стока со склонов отдельных горных массивов, окружающих озеро. Последним определяется ориентировочное количество загрязняющих веществ природного и антропогенного происхождения (промышленность, растениеводство, животноводство и т.д.), попадающих в озеро или его притоки с диффузным или поверхностным стоком.

Количество атмосферных осадков, выпадающих на зеркало озера, и их распределение по его акватории имеет значение не только для водного баланса, но и в какой-то степени определяет гидроэкологическую зависимость между воздушным и водным бассейнами озера. Среднегодовое количество осадков, выпадающих на поверхность озера, составляет 340–380 мм [Орлов, 1935; Зайков, 1946; Александрян, 1971], и распределяются они следующим образом: больше чем на половине акватории (55,4 % – площадь пелагической части) выпадает до 350 мм, на площади около 23 % (сублитораль) – до 400 мм, и только на площади около 22 % (литораль) выпадают осадки свыше 400 мм в год (рис. 18). Поверхность, на которую выпадает более 500 мм в год, составляет менее 5 % от всей площади озера [Александрян, 1971]. Суточный максимум осадков на западном побережье Севана составляет 33 мм, а на восточном – 28 мм.

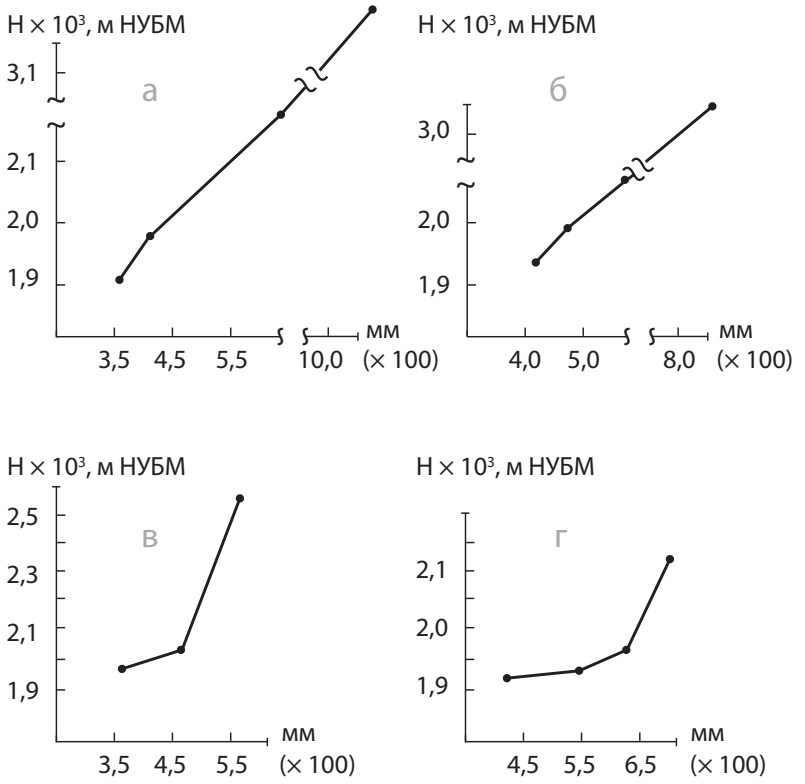


Рис. 19. Количество осадков (мм) и их распределение (Н – высота НУБМ) по склонам отдельных горных массивов севанского бассейна (а – Гегамский; б – Варденисский; в – Севанский; г – Арегуни-Памбакский горные массивы)

Fig. 19. Precipitations level (mm) and their distribution (H – height of OLBS) on the slopes of separate mountain massifs of Lake Sevan Basin (a – Gegham; б – Vardenis; в – Sevan; г – Areguni-Pambak mountain massifs)

Распределение осадков по склонам отдельных горных массивов приводится на рисунке 19, из него видно, что по обилию осадков первое место занимает Гегамский, второе – Варденисский, далее Арегуни-Памбакский и Севанский горные массивы [Александрян, 1971].

Снежный покров в севанском бассейне образуется ежегодно и местами достигает большой мощности. Число дней со снежным покровом варьирует от 90 до 140 дней в разные годы. Снежный покров появляется в середине ноября (ранний – октябрь, поздний – январь), устойчивый покров образуется с начала декабря (ранний – ноябрь, поздний – январь), а его разрушение начинается с начала марта – в апреле (раннее – февраль, позднее – конец апреля). Сход снежного покрова начинается с конца апреля (ранний – март, поздний – май).

В прибрежной зоне озера Севан снег появляется во второй половине ноября, а выше (5-й и 6-й климатические пояса) – на месяц раньше. С начала декабря снежный покров наиболее устойчив в бассейнах рек Варденис и Аргичи и менее устойчив на восточном побережье озера, где частично стаивает в период ветров и в результате более активной солнечной радиации. Средняя высота снежного покрова в марте на прибрежных участках озера составляет 10–20 см, на склонах горных массивов на отметке примерно 2400 м – 30–40 см, выше 2400 м – 60–100 см.

Из притоков озера Севан наибольшие запасы влаги образуются в бассейне реки Аргичи.

ГЛАВА 3

РОЛЬ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА В ФОРМИРОВАНИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕРА СЕВАН И В ЕГО ЭВТРОФИРОВАНИИ

Решение проблемы охраны и рационального использования природных ресурсов озера Севан в условиях интенсификации всех видов хозяйственной деятельности невозможно без выявления количественных закономерностей формирования потоков вещества в системе «водосбор – озеро», а также взаимосвязей между составляющими баланса биогенных элементов и изменений структурно-функционального состояния экосистемы.

Предположение о состоянии водосбора как основном факторе регулирования трофического статуса озера требует серьезной проработки, так как уязвимость экосистемы озера Севан со стороны водосбора в связи с уничтожением его естественного защитного барьера – макрофитов – резко возросла. Уменьшение водных запасов озера почти в два раза (на 42,2 %, см. табл. 60) соответственно увеличило гидравлическую нагрузку, что усилило потенциал воздействия водосбора на дестабилизированную экосистему.

Речная сеть водосбора озера Севан

Гидрографическая характеристика рек

Распределение рек по бассейну озера Севан неравномерно: в Малый Севан впадают 4 речки, а остальные 24 впадают в Большой Севан (см. рис. 8). Особенно густой речной сетью покрыто южное побережье озера. С юго-восточной части бассейна стекает одна река Масрик, а с северо-восточной – многочисленные малые речки и временно действующие потоки-сели. Сток рек севанского бассейна образуется тремя составляющими: подземной, снеговой и дождевой [Мхитарян и др., 1961]. Подземная составляющая стока зависит от водности предшествующего большого промежутка времени и поэтому изменяется незначительно. Осадки и температура воздуха являются основными факторами стока, поэтому они главным образом

сказываются на его годовой величине. Для рек севанского бассейна дождевая составляющая по объему в несколько раз больше снеговой [Мхитарян и др., 1961]. Талые воды стекают в течение почти всего половодья (до конца июня).

По классификации Б.Д. Зайкова [1933], притоки Севана относятся к рекам с весенним половодьем, на которых годовой ход стока характеризуется двумя максимумами – весной и осенью и двумя минимумами – летом и зимой. Эта характеристика в общем справедлива для всех притоков озера Севан. Однако геолого-морфологические и климатические особенности отдельных частей бассейна таковы, что они допускают значительные различия в количественном распределении стока рек, впадающих в озеро в течение года.

При составлении этого раздела использованы материалы Севанской гидробиологической станции АН Армении за 1923–1984 гг., а также следующие данные: по расходам воды притоков – ежегодные (по месяцам) сведения о режиме и ресурсах поверхностных вод суши; по температуре воды притоков – рейдовые книжки ГГМ-5 с 1951 по 1984 г.

Притоки являются основным активным и постоянно действующим связующим звеном в системе «водосбор – озеро». Для целей настоящего исследования выделены физико-географические, морфологические и гидрологические показатели, которые играют наибольшую роль в антропогенном влиянии бассейна на озеро:

– характеристики водосборной площади реки, в частности той ее части, которая находится ниже 2700 м НУБМ (табл. 6–10, 19, 20), где сконцентрирована основная хозяйственная деятельность (населенные пункты, промышленность, сельское хозяйство и т.д.);

– гидрологические характеристики (источники питания реки и их соотношение, ежемесячные расходы и их колебания, сроки половодья и межени, общее падение реки, скорость течения, температура и ледоставы (табл. 6–10, 19, 20);

– гидрологическая значимость реки среди остальных рек этой части бассейна и для бассейна озера в целом (табл. 6–10).

Сезонные изменения водности и температуры воды, характерные для рек бассейна озера Севан, приводятся на примере рек Гаварагет, Аргичи, а также Арпа (рис. 20, 21).

Анализ приведенных данных по некоторым физико-географическим особенностям, морфометрии и гидрологии притоков Севана показывает, что сумма их водосборных площадей составляет 80 % (2918 км^2) от всей площади (3647 км^2) водосборного бассейна озера (табл. 10). В среднем 75 % всех водосборных площадей рек бассейна находится до 2700 м НУБМ, в зоне интенсивной хозяйственной деятельности.

Речная сеть в бассейне озера распределена неравномерно. Около 80 % речного стока поступает в Большой Севан.

Таблица 6. Некоторые морфометрические, физико-географические и гидрологические показатели рек восточного склона Гегамского горного массива

Река	Длина, км	Площадь водосбора		Среднее падение, м на 1 км	Средний уклон бассейна, град.	Средняя высота НУБМ, м	Расход воды		
		км²	%				Q рек многолет., м³/с	Объем стока	
								м³ × 10⁶	%
Гаварагет	40,0	480,0	60,0	32,0	9°18′	2440	3,77	119,2	54,4
Шохвак	19,5	65,4	8,2	76,4	9°54′	2550	0,55	17,4	8,0
Цаккар	12,0	66,3	8,3	41,6	9°00′	2550	0,59	18,6	8,5
Бахтак	28,1	153,2	19,2	51,5	9°00′	2520	0,86	27,2	12,4
Личк	8,0	34,0	4,3	30,2	9°00′	2450	1,16	36,7	16,7
Итого:		**799,0**	**100**	**46,3**	**9°14′**	**2502**	**6,93**	**219,0**	**100**

Таблица 7. Некоторые морфометрические, физико-географические и гидрологические показатели рек северного склона Варденисского горного массива

Река	Длина, км	Площадь водосбора		Среднее падение, м на 1 км	Средний уклон бассейна, град.	Средняя высота НУБМ, м	Расход воды		
		км²	%				Q рек многолет., м³/с	Объем стока	
								м³ × 10⁶	%
Аргичи	49,7	387,0	24,1	18,2	9°12′	2470	5,46	173,0	35,8
Мартуни	27,0	101,4	6,3	55,1	16°45′	2550	1,66	53,0	11,0
Астхадзор	21,2	49,8	3,1	63,0	15°36′	2560	0,28	8,9	1,8
Золакар	13,5	33,5	2,1	78,4	9°21′	2280	0,14	4,4	1,0
Селавагет	15,4	33,4	2,1	69,0	10°33′	2420	0,17	5,4	1,1
Варденис	27,5	114,6	7,1	47,1	17°18′	2650	1,82	58,0	12,0
Арцванист	19,1	83,2	5,2	67,0	14°42′	2540	0,56	18,0	3,7
Макенис	24,6	124,0	7,7	55,3	11°06′	2600	1,18	37,3	7,7
Масрик	42,4	680,0	42,3	57,4	11°12′	2300	3,95	125,0	25,9
Итого:		**1607**	**100**	**56,7**	**13°00′**	**2500**	**15,2**	**483,0**	**100**

Таблица 8. Некоторые морфометрические, физико-географические и гидрологические показатели рек юго-западного склона Севанского горного массива

Река	Длина, км	Площадь водосбора		Среднее падение, м на 1 км	Средний уклон бассейна, град.	Средняя высота НУБМ, м	Расход воды		
		км^2	%				Q рек многолет., м^3/с	Объем стока	
								м^3 × 10^6	%
Шишкая	14,4	20,7	9,8	188,7	20°24′	2700	0,13	4,1	11,9
Саринер	11,6	19,6	9,2	147,1	20°15′	2700	0,12	3,8	10,5
Гюней	8,0	12,2	5,8	111,0	24°12′	2480	0,10	3,2	8,8
Дара	8,4	27,0	12,7	121,4	21°40′	2450	0,25	7,9	21,6
Памбак	9,5	23,7	11,2	118,0	20°45′	2470	0,23	7,3	20,0
Шампырт	8,8	19,8	9,3	91,6	21°12′	2400	0,10	3,2	8,8
Бабаджан	7,1	23,2	11,0	114,7	17°18′	2300	0,01	0,32	0,8
Джил	9,5	20,6	9,7	94,0	15°30′	2300	0,13	4,1	11,3
Дали	6,1	15,0	7,1	104,2	15°30′	2330	0,01	0,32	0,8
Новруз	5,5	11,6	5,5	115,6	20°21′	2340	0,01	0,32	0,8
Артаниш	7,3	18,5	3,7	110,5	14°57′	2240	0,06	1,19	5,3
Итого:		**212**	**100**	**119,7**	**19°10′**	**2428**	**1,15**	**36,5**	**100**

Таблица 9. Некоторые морфометрические, физико-географические и гидрологические показатели рек юго-западного склона Арегуни-Памбакского горного массива

Река	Длина, км	Площадь водосбора		Среднее падение, м на 1 км	Средний уклон бассейна, град.	Средняя высота НУБМ, м	Расход воды		
		км²	%				Q рек многолет., м³/с	Объем стока	
								м³ ×10⁶	%
Спитакаджур	10,6	23,5	14,8	58,6	9°36′	2200	0,12	3,8	8,4
Тсхлуджа	10,8	38,8	24,6	63,6	11°21′	2250	0,21	6,6	14,5
Дзкнагет	21,3	96,0	60,6	35,6	9°45′	2230	1,09	35,0	77,1
Итого:		**158,3**	**100**	**52,6**	**10°00′**	**2226**	**1,42**	**45,4**	**100**

Таблица 10. Некоторые морфометрические и гидрологические показатели бассейна озера Севан

Горный массив	Площадь, км²	Площадь водосбора реки		$\frac{S}{\sum S}$, %	Средняя высота НУБМ, м	Расход воды			
		S, км²	%			Q рек многолет., м³/с	Объем стока		
							×10⁶, м³/год	%	%
Гегамский	1104	862	78	29,0	2500	6,93	218,7	28,0	21,5
Варденисский	1932	1673	85	58,0	2500	15,2	480,0	62,0	48,3
Севанский	378	221	59	7,5	2440	1,15	36,5	4,5	3,5
Арегуни-Памбакский	233	162	70	5,5	2230	1,42	44,8	5,5	4,2
Итого	3647	2918	80	100	2420	24,7	780,0	100	–
р. Арпа	–	241	–	–	2750	7,5	236,5	–	22,5
Всего	**3888**	**3159**	**86,7**	**–**	**2585**	**32,2**	**1016,5**	**–**	**100**

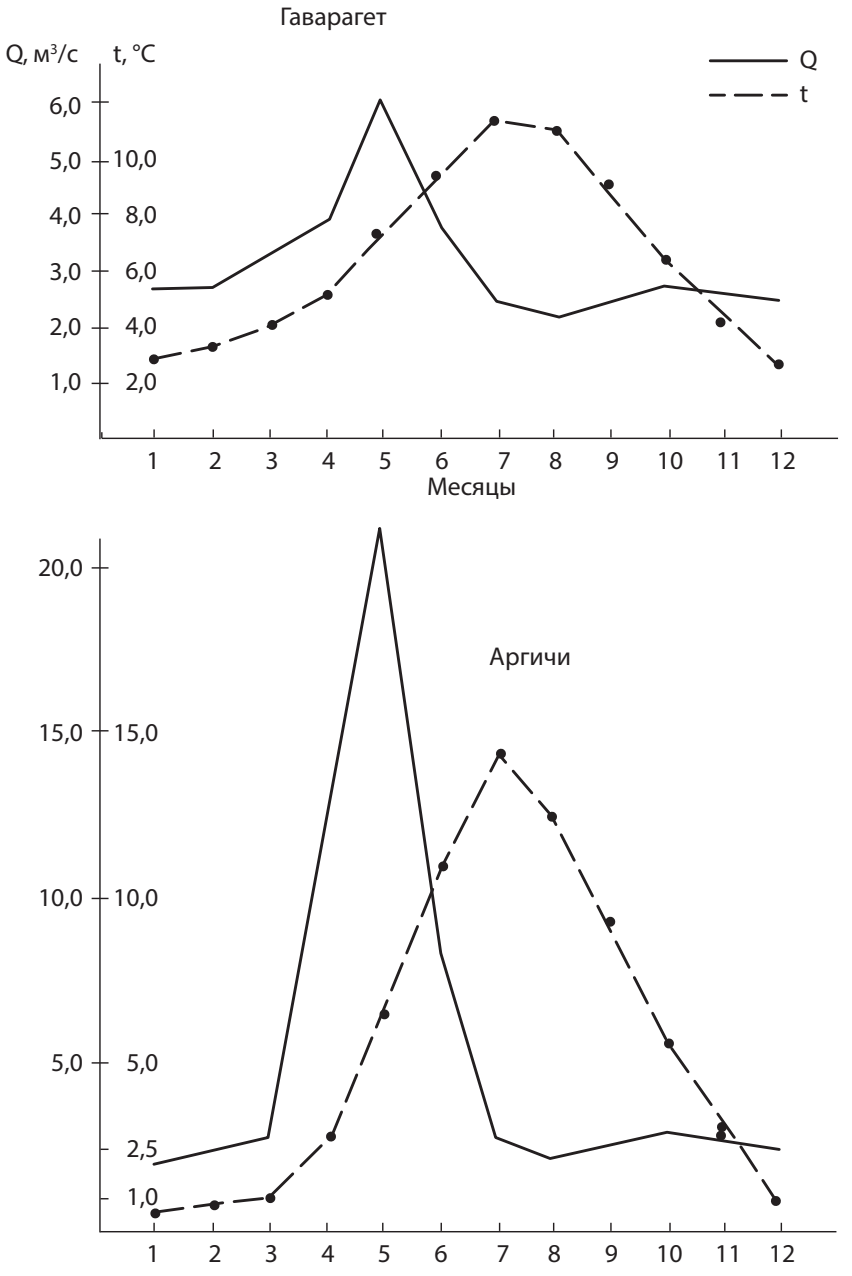


Рис. 20. Значения среднемесячных расходов Q (м³/с) и температуры воды t (°С) рек Гаварагет и Аргичи за многолетний период (1936–1984 гг.)

Fig. 20. Mean monthly water consumption Q (m³/s) and temperature t (°C) values in the Gavaraget and Argichi rivers for the long-term period (1936–1984)

После ввода в строй в 1981 г. туннеля Арпа – Севан наиболее крупной рекой бассейна стала р. Арпа (250 млн м³/год) (рис. 21).

Годовой суммарный сток в озеро без учета Арпы составляет 780 млн м³ (24,7 м³/с), а с учетом ее стока 1016,5 млн м³ (32,3 м³/с).

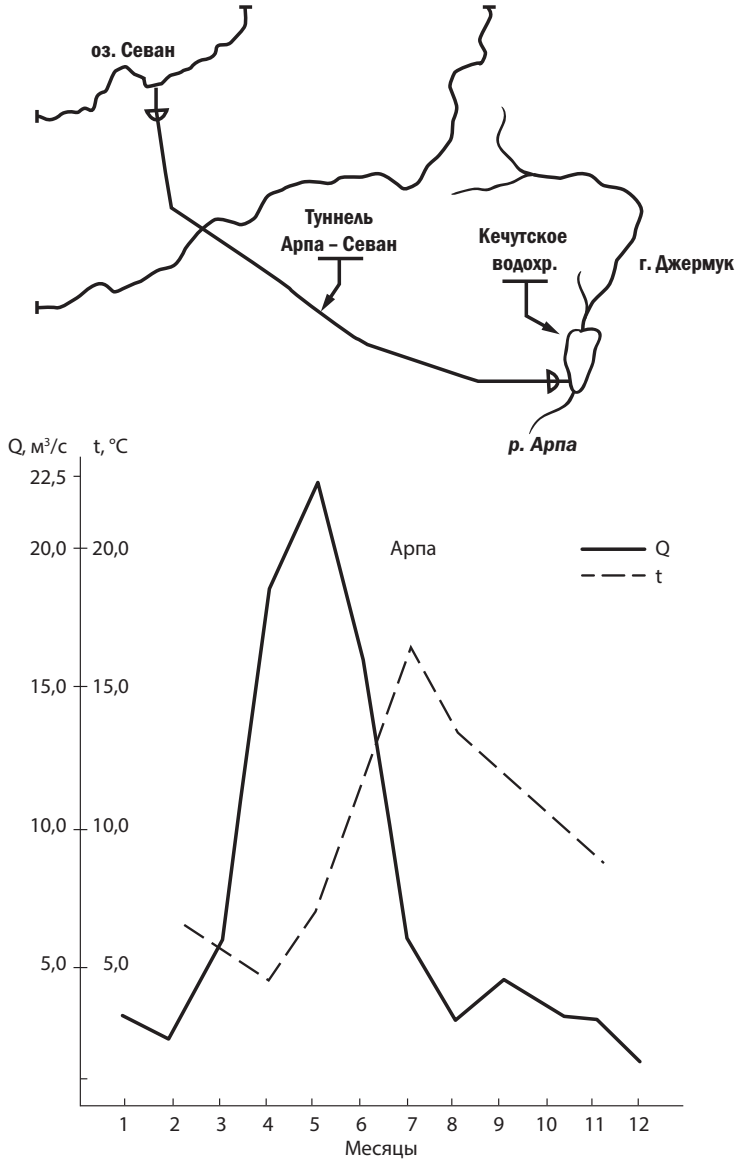


Рис. 21. Значения среднемесячных расходов и температуры воды р. Арпа за 1982–1983 гг.
Fig. 21. Mean monthly water consumption and temperature values in the Arpa River for 1982–1983

До понижения уровня Севана речной приток составлял 1,34 % от объема озера (0,780 км³/год от 58,4 км³). В настоящее время без учета стока Арпы он составляет 2,32 % (0,780 км³/год от 33,8 км³). Таким образом, значение естественного стока увеличилось в 1,77 раза, если принять, что величина речного стока оставалась такой же, что и до спуска. С учетом стока Арпы речной приток в настоящее время составляет 3,0 % (1,020 км³/год от 33,8 км³), то есть его относительное значение увеличилось в 2,24 раза.

Первое место по сумме площадей бассейнов рек и по стоку занимает Варденисский горный массив, сумма бассейнов рек которого составляет 58,0 % всей водосборной площади бассейна озера, а водный сток – 62,0 % (табл. 10) суммарного стока всех рек. Среди рек, стекающих по склонам Варденисского хребта, самыми крупными являются: по водности – р. Аргичи (35,8 %; см. табл. 7), по водосборной площади – р. Масрик (42,3 %). По стоку же р. Масрик является второй (25,9 %), далее следуют реки Варденис (12,0 %), Мартуни (11,0 %) и Макенис (7,7 %). Остальные реки маловодны, сток их составляет 1–3 % общего стока рек этого горного массива.

Второе место по сумме площадей бассейнов рек и по стоку занимает Гегамский горный массив. Суммарная площадь бассейнов рек составляет 29,0 %, а сток 28,0 % общей площади и общего стока соответственно (табл. 10).

Среди рек, стекающих с Гегамского горного массива, по площади водосборного бассейна (60,0 %) и по объему стока (54,4 %) самой крупной является р. Гаварагет. Второй по площади водосбора является р. Бахтак, но она маловодна. Несколько более многоводна р. Личк, но она имеет незначительную водосборную площадь (4,3 %). Остальные реки очень маловодны (табл. 6).

Третье место по сумме площадей бассейнов рек (7,5 %) занимает Севанский горный массив, но его суммарный сток наименьший (4,5 %). Все реки, стекающие с этого горного массива, имеют маленькую водосборную площадь, маловодны; среди них выделяют реки Дара, Памбак, Шишкая и Джил (табл. 8).

Четвертое место по сумме площадей бассейнов рек – 5,6 % (табл. 10) – занимает Арегуни-Памбакский горный массив. Среди рек, стекающих по этому горному массиву, по величине водосборной площади (61,0 %) и по величине стока (77,0 %) самой крупной является р. Дзкнагет. Остальные реки маловодны (табл. 9).

Гидрохимическая характеристика рек

Роль речного притока в формировании качества воды Севана, как уже было сказано, возросла с увеличением отношения годового водного стока к объему озера до и после понижения уровня в 1,77 раза (с 1,3 до 2,3 %), а также вследствие интенсификации в тот же период хозяйственной деятельности в бассейне озера.

Изучение химического состава вод притоков озера Севан впервые (1928–1929 гг.) проводил С.Я. Лятти [1932б]. В 1947–1948 гг. эти работы продолжились Б.Я. Слободчиковым [1951] и Р.Л. Лачиновой [1969]. В дальнейшем специальные исследования не проводились. Имеются лишь приведенные в отчетах данные, полученные сотрудниками Севанской гидробиологической станции (СГБС) АН Армении. Анализ гидрохимического состояния притоков в этот период (до 1973 г.) выполнен также нами – на основе использования архивных материалов Армянского республиканского управления по гидрометеорологии и контролю природной среды (Гидрохимия воды притоков; Гидрологический ежегодник, т. 3; вып. 2–5).

В 1973–1974 гг. нами детально обследовались все притоки озера, а с 1975 по 1984 г. исследования проводились по разработанной комплексной схеме изучения гидрохимических показателей притоков озера Севан [Оганесян и др., 1985б, в, 1987; Оганесян, Бабаян, 1987]. По этой схеме, с учетом необходимости изучения самоочистительной способности рек, конкретно определялись места и сроки (особенно при весеннем половодье) отбора проб воды для каждого притока в отдельности, что раньше делалось бессистемно (рис. 22).

Определение различных компонентов химического состава речной воды проводили общепринятыми методами [Руководство по химическому анализу ... 1977].

Жесткость воды притоков озера Севан невелика, ее величина колеблется от 0,5 до 2,6 мг-экв/л.

Водородный показатель в различных реках колеблется от 7,0 до 7,8. В течение рассматриваемого периода (1928–1984 гг.) произошло некоторое увеличение pH воды притоков озера (на 0,2–0,7). После 1960-х гг. наблюдается также тенденция снижения количества растворенного кислорода от 9,0–15,0 мг/л при 100–156 % насыщения до 6,0–10,0 мг/л при 70–118 % насыщения.

В воде рек увеличилось содержание органического вещества – перманганатная окисляемость возросла с 1,1 мг O_2/л в 1929 г. до 3,0–4,0 мг O_2/л в 1984 г. Измеряемое с 1975 г. $БПК_5$ притоков озера Севан колеблется от 1,0 до 3,0 мг O_2/л, оно выше для рек Гаварагет и Масрик (3,3–4,5 мг O_2/л), особенно в летне-осенний период.

Вода притоков озера Севан носит резко выраженный гидрокарбонатный характер, кальциевой группы, тип I, II, III по классификации О.А. Алекина [1950], а по типизации П.С. Кузина [1960], учитывающего гидрогеологическую классификацию, относится к классу «А».

Вода притоков маломинерализована, с преобладанием в ионном составе HCO_3^- и Ca^{2+}. В половодье минерализация колеблется от 40 до 120 мг/л, а в межень от 100 до 250 мг/л. Наиболее минерализованы воды рек Гаварагет, Масрик, Джил (200–300 мг/л). Среднегодовая минерализация и химический состав воды основных притоков озера Севан в различные периоды

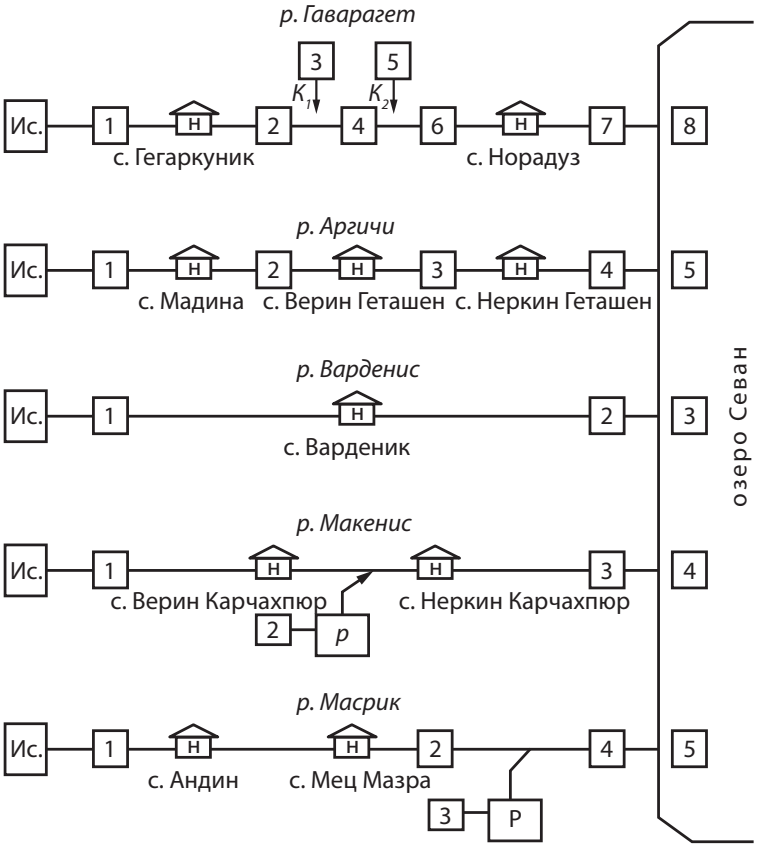


Рис. 22. Места отбора проб для гидрохимического анализа основных рек бассейна озера Севан (Ис. – истоки рек; цифрами обозначены место и очередность взятия проб для каждой реки в отдельности. Н – населенные пункты, Р – родники; K_1, K_2 – канализационные коллекторы в г. Камо, стоки которых без очистки попадают в р. Гаварагет)

Fig. 22. Sampling sites for the hydro-chemical analysis of the main rivers of Lake Sevan Basin (Ис. – river's rise; figures indicate the sampling sites and sequence for every river in particular; H – settlements; P – springs; K_1, K_2 – sewage system collectors in the town of Kamo (Gavar), which non-purified wastes enter the Gavaraget River)

приводятся в таблице 11, где химический состав 1929 г. – это усредненные показатели за 1928–1929 гг. [Лятти, 1932а, б]; 1969 г. – усредненные данные за 1950–1969 гг. СГБС и АрмУГКС; 1984 г. – усредненные данные за 1979–1984 гг., полученные нами [Оганесян и др., 1985в].

Приведенные данные показывают, что в период с 1928 по 1984 г. в 2–5 раз увеличилась концентрация гидрокарбонатов, ионов хлора, кальция и сумма ионов натрия и калия. В результате этих изменений средневзвешенное годовое значение ионного стока в Севан (табл. 12) возросло с 88 тыс. т в 1928–1929 гг. до 98 тыс. т в 1969 г. (на 11 %) и 141 тыс. т (на 60 %) в 1984 г.

Таблица 11. Средняя годовая минерализация и ионный состав воды основных притоков озера Севан в различные периоды, мг/л (пояснения см. в тексте)

Река	Год	Водный сток, $м^3 \times 10^6$	Гидрохимические показатели						
			HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\frac{Na^+}{K^+}$	∑И*
Гаварагет	1929	126,0	97,0	7,3	9,9	15,4	9,1	16,4	155,0
	1969	120,7	113,4	15,0	10,9	19,4	9,7	17,8	186,0
	1984	110,3	140,0	14,9	16,4	32,4	15,7	25,3	245,0
Аргичи	1929	161,2	62,4	2,4	2,5	11,1	3,9	6,6	89,0
	1969	158,5	64,1	8,1	1,0	13,7	3,9	6,0	97,0
	1984	152,9	135,0	7,6	7,8	18,6	9,5	11,8	190,0
Мартуни	1929	52,0	66,0	18,2	3,0	13,4	3,6	5,3	109,5
	1969	49,5	67,1	22,4	3,4	20,1	4,9	8,2	131,0
	1984	47,5	138,0	25,3	13,2	22,4	11,0	21,0	231,0
Варденис	1929	56,2	32,4	4,7	1,5	9,7	2,2	7,0	57,0
	1969	56,3	28,2	8,8	0,7	6,6	1,9	7,3	53,5
	1984	52,5	30,0	9,2	4,0	8,4	3,5	15,0	70,0
Макенис	1929	35,3	56,9	4,2	3,1	13,2	3,4	9,0	90,0
	1969	36,9	61,7	7,7	2,0	13,3	4,6	4,6	94,0
	1984	33,6	35,0	11,6	5,1	23,0	10,0	10,0	95,0
Масрик	1929	149,5	135,6	6,2	2,6	30,9	8,8	11,3	196,0
	1969	127,7	133,4	13,1	3,9	32,6	9,1	8,6	198,0
	1984	130,5	130,0	17,3	7,4	31,0	13,7	12,0	211,0
Дзкнагет	1929	32,8	53,2	3,0	2,4	13,0	2,4	5,3	79,0
	1969	35,3	66,4	9,6	1,6	15,6	4,1	5,4	103,0
	1984	29,6	119,0	16,0	8,8	30,4	6,5	13,2	194,0

* Сумма ионов.

Таблица 12. Средний годовой ионный сток в оз. Севан в различные периоды

Период	Водный сток, млн $м^3$			Средняя годовая минерализация воды, $г/м^3$	Ионный сток (10^3 т)			Относительное увеличение
	7 основн. рек (76,5 %)	21 реки (23,5 %)	всех 28 рек (100 %)		7 основн. рек (76,5 %)	21 реки (23,5 %)	всех 28 рек (100 %)	
1928–1929	600,0	184,0	784,0	111,0	67,0	21,0	88,0	1,00
1950–1969				125,0	75,0	23,0	98,0	1,11
1979–1984				180,0	108,0	33,0	141,0	1,60

По нашему мнению, такое увеличение ионного стока притоков озера Севан имеет петрогенное и техногенное происхождение. Петрогенное увеличение ионного стока связано с удлинением, неустойчивостью и эрозией русел всех рек в связи с понижением уровня озера на 18,8 м. Техногенное (антропогенное) увеличение ионного стока связано с периодом интенсификации социально-экономического развития региона бассейна озера Севан (1960–1980 гг.). Это подтверждается еще и тем, что за 40 лет (1929–1969 гг.) годовой ионный сток в озеро возрос на 11 % (табл. 12), а за последующие 15 лет (1969–1984 гг.) – на 44 %. То есть в первом случае за каждый последующий год ионный сток возрастал на 0,3 %, а во втором – на 3 % (в 10 раз интенсивнее, чем в 1929–1969 гг.).

Для доказательства значимости антропогенного влияния на формирование гидрохимического состава рек бассейна озера Севан нами были изучены суточные изменения температуры, концентрации растворенного кислорода, pH, перманганатной окисляемости (ПО), а также концентрации ионов HCO_3^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Na^+, K^+, Mg^{2+}, содержание минеральных форм азота и общего фосфора в сравнительно чистой воде р. Макенис и в загрязненной воде р. Гаварагет. Анализ полученного материала показывает, что изменение физико-химических параметров начинается с семи утра. Если исходной величиной указанных параметров принимать гидрохимическое состояние рек в ночное время, от часу ночи до шести часов утра, когда антропогенная нагрузка минимальна, то при сравнении их с периодом интенсивной деятельности населения – от 12:00 до 15:00 часов – можно заметить увеличение на 40–60 % содержания минерального азота и общего фтора, а к 19:00 часам – на 20 % ионного стока. В этот же период происходят взаимосвязанные изменения температуры, O_2, pH, ПО.

• *Биогенные элементы*

Наибольшее значение для лимнических экосистем имеет поступление в озеро биогенных элементов – азота и фосфора, – поскольку именно они вызывают антропогенное эвтрофирование водоемов [Шилькрот, 1973; 1975а, б; Винберг, 1967; 1977; Россолимо, 1975; 1977].

Среднегодовые концентрации азота и фосфора в воде основных притоков озера Севан в различные периоды приводятся в таблице 13, данные 1929 г. – это усредненные показатели за 1928–1929 гг. [Лятти, 1932а, б]; 1969 г. – усредненные показатели за 1950–1969 гг. СГБС и АрмУГКС; 1984 г. – усредненные показатели за 1979–1984 гг., полученные нами [Бабаян, 1984; Оганесян и др., 1985б; Парпарова, 1985].

Азот. По данным С.Я. Лятти [1932а, б], речные воды были бедны минеральными соединениями азота. Азот представлен в основном нитратами (общий азот в те годы не определяли). В среднем за год минеральный азот в воде притоков составлял 0,31 мг/л (в том числе 0,29 мг/л нитратного азота). Антропогенное воздействие на притоки Севана выразились в резком увеличении концентрации минеральных форм азота в воде. Сумма минеральных

форм азота в воде притоков озера за период наших наблюдений изменялась от 0,63 мг N/л (р. Варденис) до 3,25 мг N/л (реки Масрик и Гаварагет). В целом в воде притоков минеральный азот преобладает в форме нитратов. Во всех притоках концентрация нитратов составляет в среднем 1,97 мг N/л за год, или 40–70 % от общего азота. Существенно возросло как относительное, так и абсолютное значение аммонийного азота.

Сезонная изменчивость концентрации минерального и общего азота приведена на рисунке 23. Видно, что характер сезонной динамики минерального и общего азота имеет сходные черты. Как правило, наименьшие концентрации приурочены к паводку, наибольшие – к межени. Очевидно, что разбавление речной воды талыми водами, содержащими небольшие количества азота, приводит к снижению его концентрации в воде рек. Однако на некоторых реках отмечается увеличение концентрации общего азота в период паводка (реки Гаварагет, Арпа; см. рис. 23–25) при одновременном уменьшении суммы минеральных форм. Увеличение концентрации общего азота, очевидно, происходит за счет поступления органических азотсодержащих веществ водосбора.

Таблица 13. Среднегодовые концентрации азота и фосфора (мг/л) в воде основных притоков озера Севан в различные периоды (пояснения в тексте)

Река	Год	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	$\sum N_{мин.}$	$N_{общ.}$	PO_4^{3-}	$P_{общ.}$
Гаварагет	1929	0,00	0,00	0,47	0,47	–	0,17	–
	1969	–	0,003	1,6	1,60	–	0,21	–
	1984	0,34	0,03	2,86	3,23	4,43	0,21	0,33
Аргичи	1929	0,00	0,00	0,11	0,11	–	0,06	–
	1969	–	0,11	1,03	1,14	–	0,14	–
	1984	0,11	0,003	2,16	2,27	3,84	0,11	0,18
Варденис	1929	0,00	0,00	0,63	0,63	–	0,06	–
	1969	–	0,03	1,01	1,04	–	0,096	–
	1984	0,23	0,00	0,87	1,10	3,42	0,08	0,13
Арпа	1929	–	–	–	–	–	–	–
	1969	–	–	0,66	0,66	–	–	–
	1984	0,08	0,00	1,55	1,63	4,05	0,09	0,15
Макенис	1929	0,00	0,00	0,29	0,29	–	0,07	–
	1969	–	–	0,75	0,75	–	–	–
	1984	0,09	0,00	1,65	1,74	3,16	0,09	0,14
Масрик	1929	0,00	0,01	0,09	0,10	–	0,05	–
	1969	–	0,07	1,15	1,22	–	0,13	–
	1984	0,16	0,01	3,09	3,26	4,73	0,09	0,17

Так, в р. Гаварагет (рис. 23), питающейся грунтовыми (60 %) и талыми (40 %) водами, концентрация общего азота изменялась в исследуемый период от 3,8 до 5,0 мг/л, нитратный азот составлял 45–50 % от общего азота в период снеготаяния, а осенью – 75–85 %. В р. Масрик (рис. 24), питающейся поверхностными (52 % за половодье) и подземными (48 %) водами, количество нитратного азота в общей сумме составляет до 90 % в период снеготаяния и 65–75 % в осенний период.

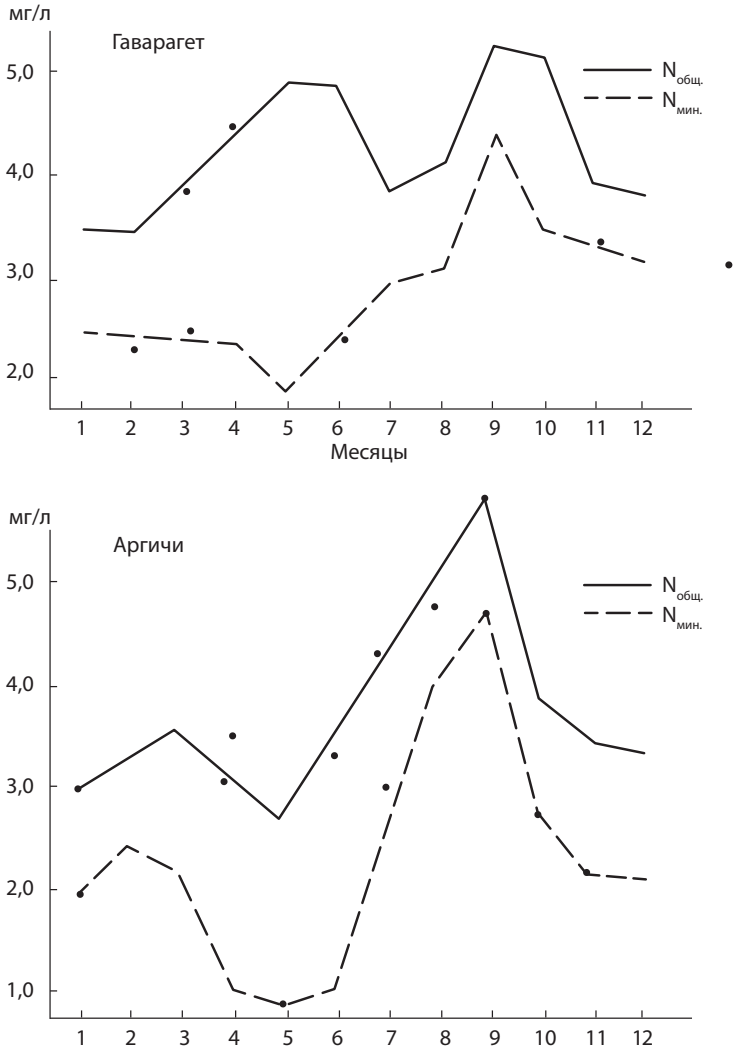


Рис. 23. Сезонная динамика концентрации азота в реках Гаварагет и Аргичи (усредненные данные за 1982–1984 гг.)

Fig. 23. Seasonal dynamics of nitrogen concentration in the Gavaraget and Argichi rivers (averaged data for 1982–1984)

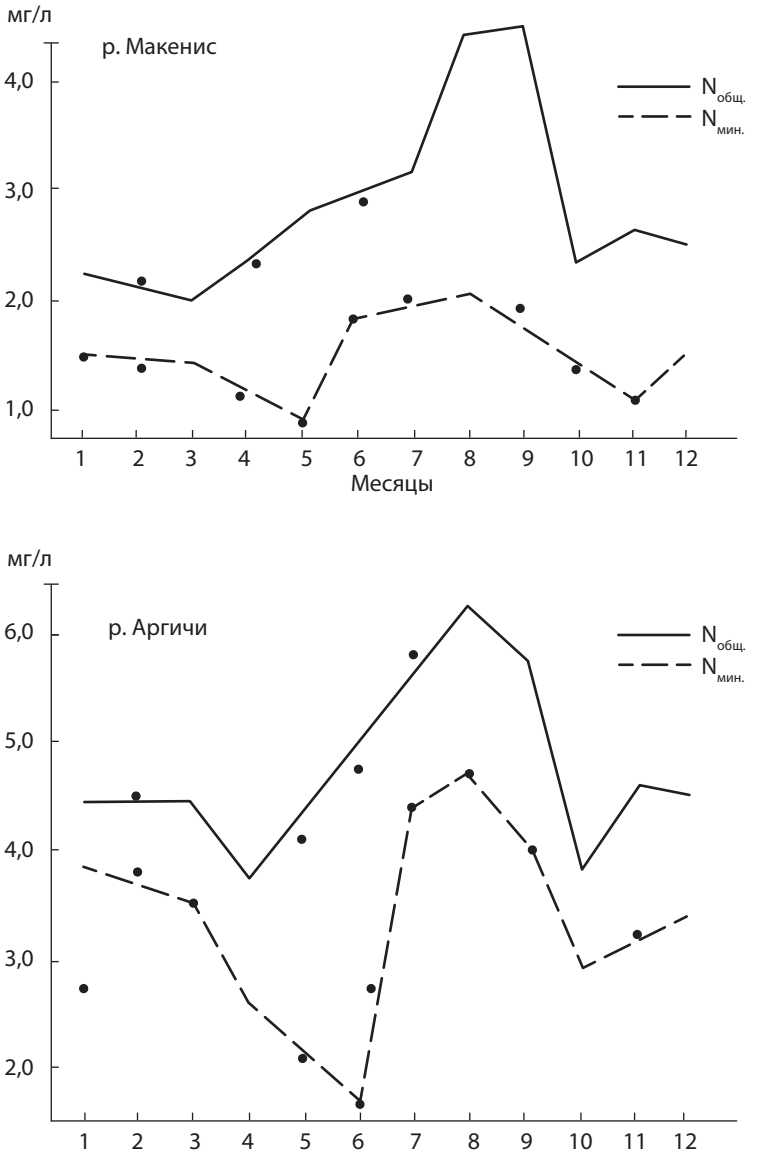


Рис. 24. Сезонная динамика концентрации азота в реках Макенис и Масрик (усредненные данные за 1982–1984 гг.)

Fig. 24. Seasonal dynamics of nitrogen concentration in the Makenis and Masrik rivers (averaged data for 1982–1984)

В течение года наибольшей изменчивости подвержено содержание азота в воде р. Аргичи, для которой крайние величины концентрации минерального азота различаются на порядок, а общего – в два раза (рис. 23). Для остальных рек, на которых велись наблюдения, диапазон концентраций

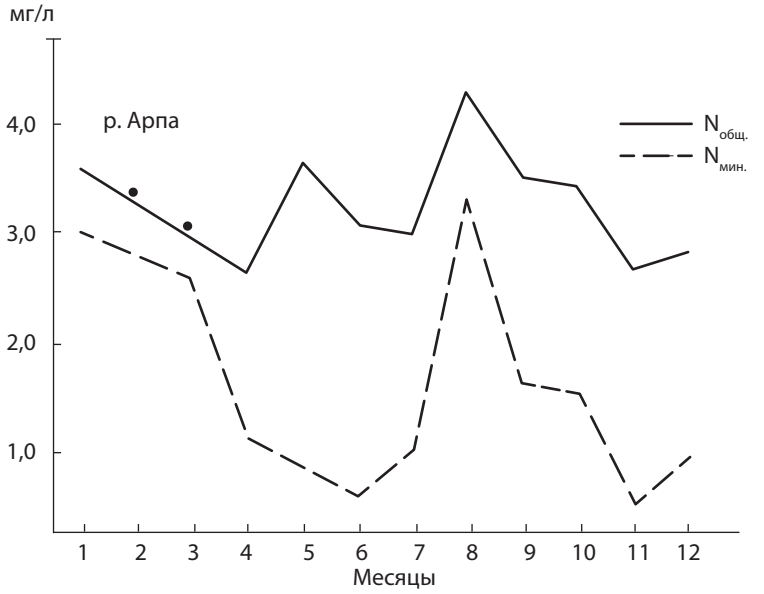


Рис. 25. Сезонная динамика концентрации азота в воде основных притоков озера Севан (усредненные данные за 1982–1984 гг.)

Fig. 25. Seasonal dynamics of nitrogen concentration in water of the main Lake Sevan tributaries (averaged data for 1982–1984)

минерального и общего азота значительно меньше. Среди изученных рек повышенным содержанием азота отличаются наиболее крупные притоки озера – Арпа, Аргичи, Масрик и Гаварагет (рис. 23–25).

Существенно увеличилась концентрация азота в р. Арпа после создания на ней Кечутского водохранилища в связи с осуществлением переброски ее вод в озеро. Если до создания водохранилища максимальная концентрация минерального азота составляла в водах Арпы около 0,6 мг/л, то в 1982–1984 гг. она, особенно в зимние месяцы, достигала 3,50 мг/л (рис. 24). Это, несомненно, является следствием трансформации арпинских вод в Кечутском водохранилище за счет разлагающегося органического вещества затопленной растительности, а также канализационных сточных вод Джермукского санаторного комплекса и сёл, находящихся выше водохранилища.

Таким образом, в целом содержание азота в притоках озера Севан значительно увеличилось. Вопрос об источниках азота и причинах увеличения его концентрации в воде притоков рассматривается ниже, но то, что этот прирост имеет антропогенный характер, не вызывает сомнения. О влиянии антропогенных факторов на содержание азота в речных водах свидетельствуют как оценочные расчеты, так и результаты натурных исследований на водосборе. В частности, нами установлена достоверная положительная связь между площадью водосбора и увеличением концентрации минерального

азота в речной воде за период с 1929 по 1985 г. (рис. 26) (коэффициент корреляции r = 0,94 значим при доверительной вероятности 95 %).

В реках Варденисского горного массива, где по сравнению с остальными районами более интенсивно развивалось сельское хозяйство, произошло резкое увеличение содержания минеральных форм азота. По сравнению с 1930-ми гг. в р. Масрик (водосборная площадь 680 км^2) в настоящее время сумма минеральных форм азота увеличилась в 32,6 раза (с 0,10 до 3,26 мг N/л; см. табл. 13), в р. Аргичи (387 км^2) – в 20,6 раза (с 0,11 до 2,27 мг N/л), в р. Макенис (124 км^2) – в 6,0 раз (с 0,29 до 1,74 мг N/л), в р. Варденис (115 км^2) – в 1,7 раза (с 0,63 до 1,10 мг N/л). В р. Гаварагет (480 км^2; Гегамский горный массив) количество азота увеличилось в 7,0 раз (с 0,47 до 3,23 мг N/л), что является результатом низких темпов развития сельского хозяйства в этом регионе.

Фосфор. С.Я. Лятти [1932а, б] приводит довольно подробные данные о содержании минерального фосфора в воде притоков озера Севан, что позволяет провести некоторые сравнения с современным периодом. Наименьшее значение концентрации минерального фосфора в 1929 г. было отмечено в р. Масрик – 0,021 мг/л, наибольшее – в р. Гаварагет – 0,258 мг/л. В среднем за год концентрация минерального фосфора в воде притоков составляла 0,05–0,07 мг/л; наиболее высокими значениями характеризовалась р. Гаварагет (0,17 мг/л; см. табл. 13). Концентрация минерального фосфора в 1929 г. изменялась в течение года в два – три раза; наименьшие значения, как и для минеральных форм азота, были приурочены к паводку, максимальные – к межени.

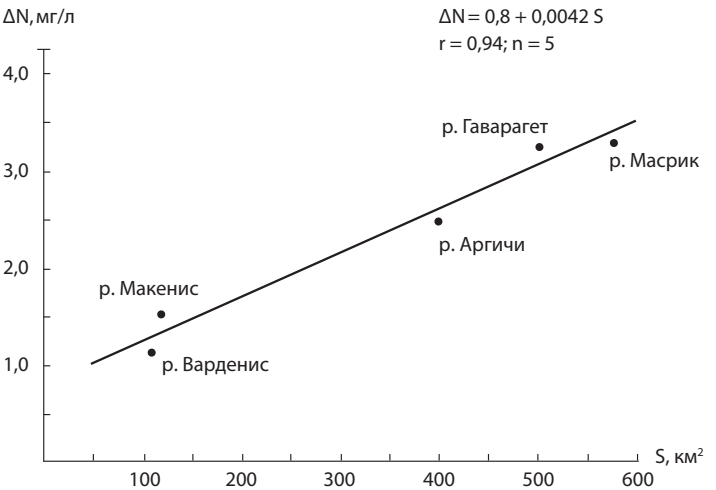


Рис. 26. Зависимость между увеличением концентрации азота (ΔN) и площадью водосборного бассейна (S) притоков озера Севан

Fig. 26. Dependency between the increase of nitrogen concentration (ΔN) and the total area of water catchment basin (S) of Lake Sevan tributaries

По результатам наблюдений за 1984 г. концентрация фосфора в притоках Севана колебалась от 0,08 мг/л (р. Варденис) до 0,21 мг/л (р. Гаварагет) для минеральных форм и от 0,13 мг/л (р. Варденис) до 0,33 мг/л (р. Гаварагет) для общего фосфора и составила в среднем для всех притоков в указанные сроки 0,10 и 0,17 мг/л соответственно (табл. 13).

Для основных рек бассейна озера Севан в целом характер изменений концентраций минерального фосфора в течение года сохранялся. В настоящее время можно выделить некоторые новые особенности сезонной динамики содержания фосфора.

Сезонная динамика общего фосфора оказалась схожей с динамикой минерального фосфора (рис. 27, 28). Однако во время паводка минимальным значениям концентрации минерального фосфора обычно соответствуют максимальные значения общего фосфора. Это, как и для азота, связано с поступлением органического фосфора с водосбора.

В новом для озера притоке – р. Арпа – концентрация минерального фосфора изменялась в пределах 0,01–0,16 мг/л, а общего – 0,03–0,2 мг/л. Видимо, часть фосфора, поступающего из Арпы, аккумулируется в Кечутском водохранилище. После создания водохранилища и начала переброски в Севан среднегодовая концентрация общего фосфора в водах Арпы снизилась с 0,19 мг/л в 1981 г. до 0,12 мг/л в 1984 г.

Имеющиеся сведения о содержании фосфора в наиболее крупных притоках озера в разные периоды освоения бассейна, начиная с 1929 по 1984 г. (табл. 13), не позволяют с уверенностью говорить о достоверном обогащении речных вод фосфором. Так, для реки Гаварагет (содержание фосфора в водах которой наибольшее) среднегодовая концентрация минерального фосфора возросла с 0,17 мг/л в 1929 г. до 0,21 мг/л (в среднем за 1984 г.). В р. Варденис соответствующие величины составили 0,06 и 0,08 мг/л, в р. Аргичи – 0,06 и 0,11 мг/л, в р. Масрик – 0,05 и 0,09 мг/л. Возможно, наблюдаемое увеличение концентраций обусловлено методическими особенностями, хотя принципиальных различий в применяемых методах нет. Следует подчеркнуть, что еще в 1929 г. вода притоков озера была богата соединениями фосфора. Столь высокие концентрации фосфора в воде притоков озера некоторые исследователи [Лятти, 1932а, б; Лачинова, 1973] связывали с геологическим строением бассейна. Однако существуют и другие точки зрения. Карапетян и др. [1984] объясняют высокие концентрации фосфора в воде притоков антропогенным воздействием. С нашей точки зрения, то, что уже в 1929 г. (когда хозяйственная деятельность в бассейне была развита слабо) содержание минерального фосфора было достаточно высоким, а также то, что за более чем 50-летний период произошло сравнительно небольшое увеличение концентрации, служит подтверждением первой точки зрения. Интенсификация хозяйственной деятельности привела к небольшому увеличению концентрации фосфора в воде рек бассейна озера Севан при значительном возрастании концентрации азота.

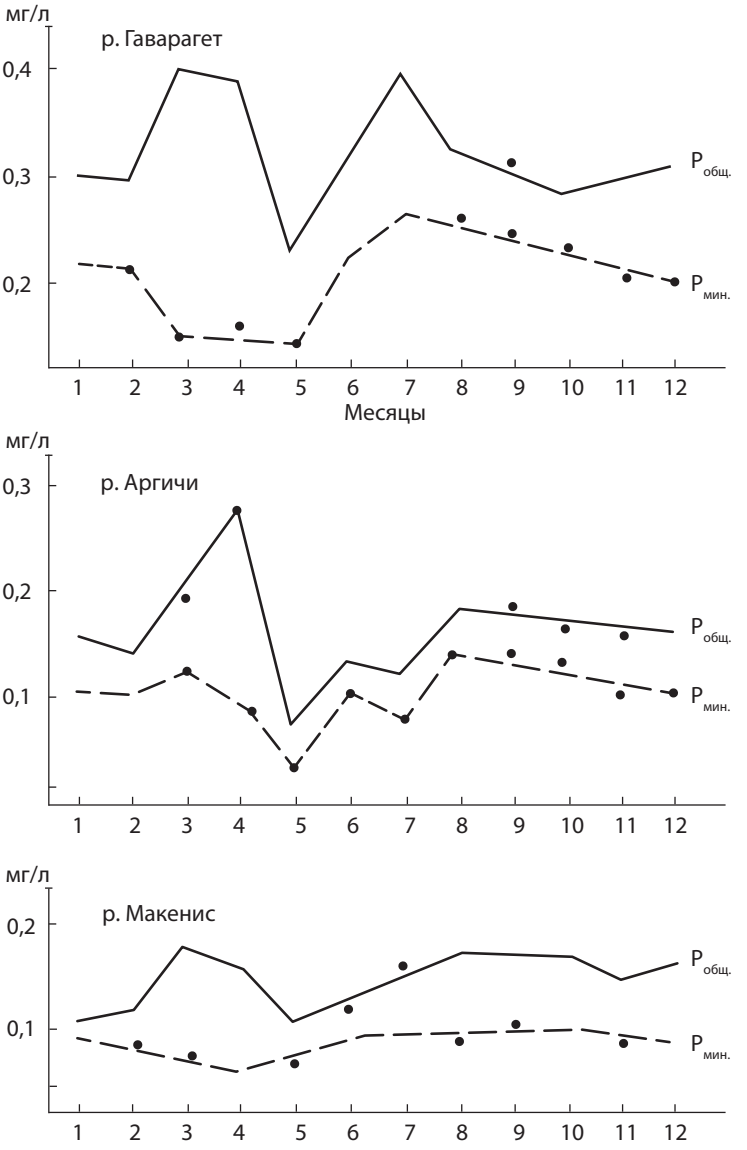


Рис. 27. Сезонная динамика концентрации фосфора в воде рек Гаварагет, Аргичи, Макенис (усредненные данные за 1982–1984 гг.)

Fig. 27. Seasonal dynamics of phosphorus concentration in water of the Gavaraget, Argichi, and Makenis rivers (averaged data for 1982–1984)

Косвенным свидетельством меньшего влияния водосбора на концентрацию фосфора в воде притоков является также отсутствие достоверной связи между увеличением концентрации фосфора и площадью водосбора рек ($r = 0{,}76$, в отличие от азота; см. рис. 26).

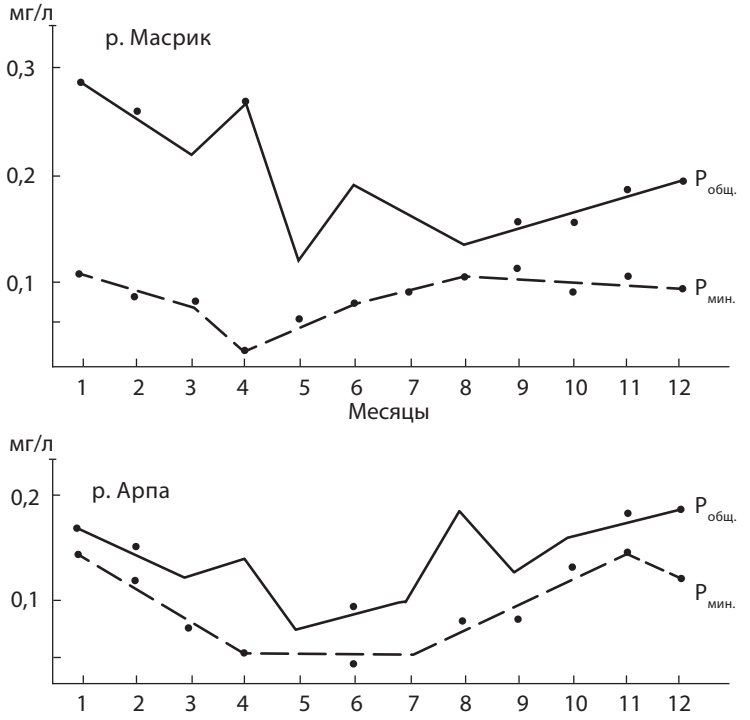


Рис. 28. Сезонная динамика концентрации фосфора в воде рек Масрик и Арпа (усредненные данные за 1982–1984 гг.)

Fig. 28. Seasonal dynamics of phosphorus concentration in water of the Masrik and Arpa rivers (averaged data for 1982–1984)

Выше основное внимание было уделено поступлению азота и фосфора с речным притоком. Остальные составляющие приходной части баланса этих элементов обсуждаются ниже.

При оценке поступления биогенных элементов в озеро Севан с речным притоком следует иметь в виду, что с 1981 г. приходная часть водного баланса озера увеличилась вследствие ввода в строй туннеля Арпа – Севан, за счет чего поступление биогенных элементов в озеро с речным притоком заметно возросло.

В таблице 14 и на рисунках 29 и 30 приведена сезонная динамика поступления азота и фосфора в Севан за счет речного притока (по данным 1982–1984 гг.). Наибольшее поступление биогенных элементов приходится на период паводка. С апреля по июль реки приносят в озеро больше половины годового количества азота (62,0 %) и фосфора (61,5 %).

Сравнение данных о современном поступлении биогенных элементов с аналогичными величинами 1929 г. свидетельствует о существенных

изменениях (табл. 15). Произошло значительное увеличение поступления минеральных форм азота в озеро Севан: в 1979–1980 гг. – в 7 раз, а в 1982–1984 гг. (после начала поступления в озеро арпинских вод) – в 10 раз. Модельные оценки [Парпарова, 1985], приведенные в таблице 15, показывают, что поступление общего азота возросло почти вдвое. Учитывая условность распространения статистических зависимостей между минеральными и общими формами, полученными по данным за 1982–1984 гг., на значительно более ранний период, приведенные оценки следует рассматривать как ориентировочные.

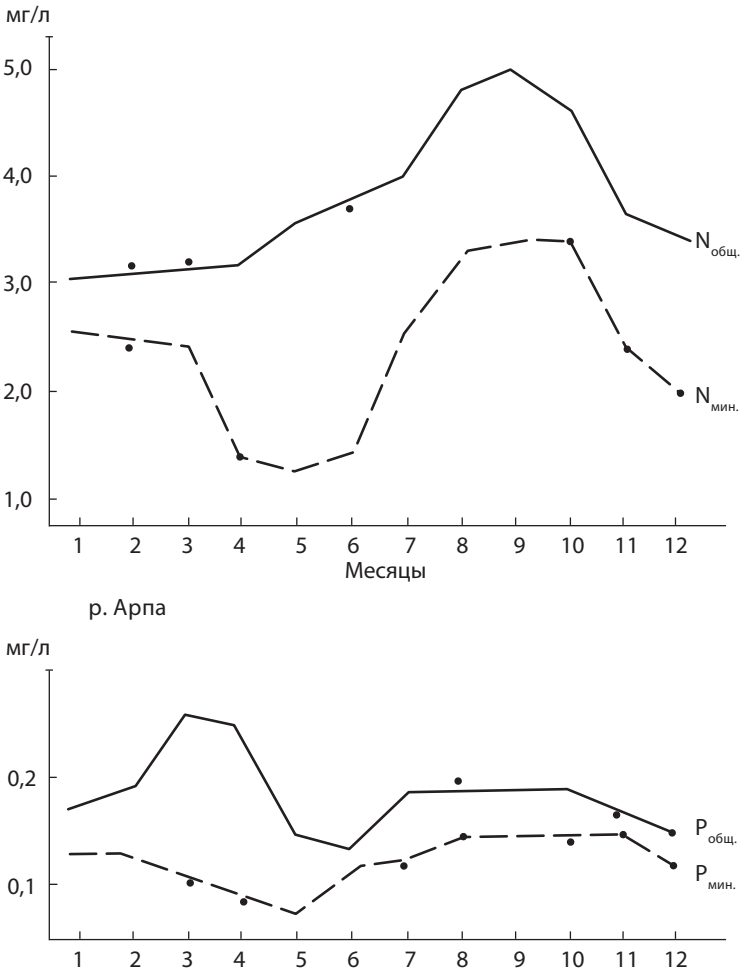


Рис. 29. Сезонная динамика концентрации азота и фосфора в воде притоков озера Севан (усредненные данные по всем притокам за 1982–1984 гг.)

Fig. 29. Seasonal dynamics of nitrogen and phosphorus concentrations in water of Lake Sevan tributaries (averaged data on all the tributaries for 1982–1984)

Поступление соединений фосфора изменилось по сравнению с 1929 г. в гораздо меньшей степени. Так, поступление минерального фосфора возросло с 74 т в 1929 г. до 100 т в 1979–1984 гг. Сравнение поступления общего фосфора (для 1929 г. – по расчетам [см.: Парпарова, 1985]) дает увеличение приблизительно в той же степени: с 133 т в 1929 г. до 184 т в 1982–1984 гг. По сравнению с поступлением азота поступление фосфора с водами Арпы относительно невелико. При этом большая часть азота и фосфора, поступающих в озеро с водами притоков, в современный период приходится на минеральные формы (табл. 15).

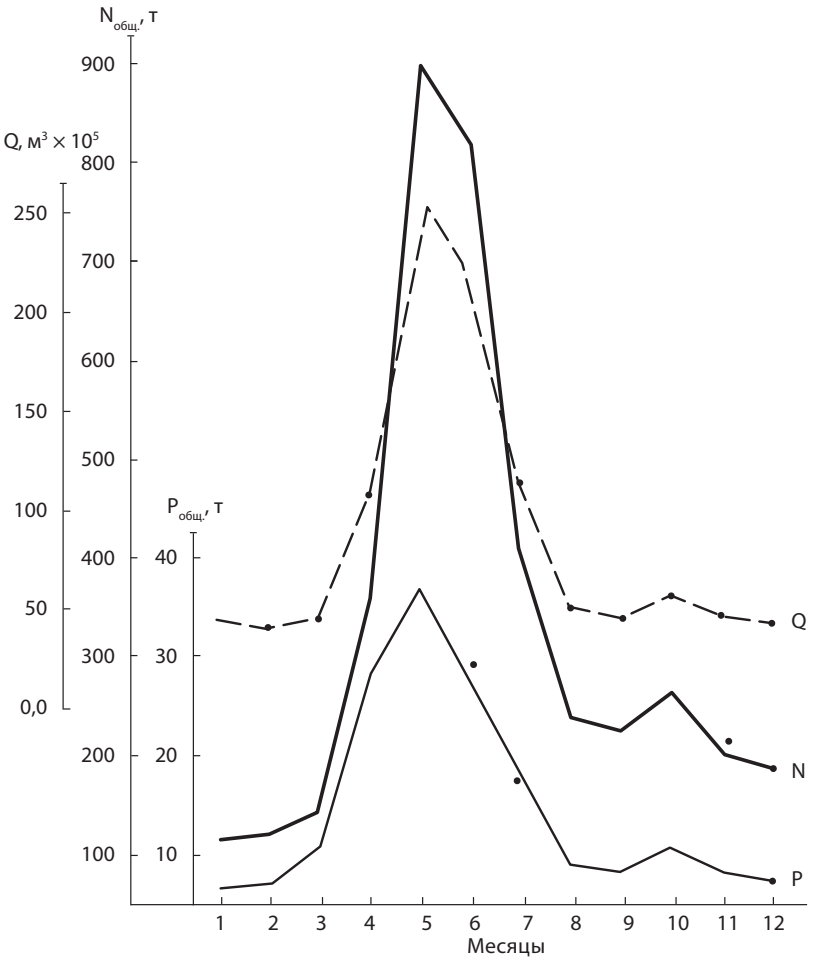


Рис. 30. Месячные величины естественного поверхностного водного стока (Q), поступления азота ($N_{общ.}$) и фосфора ($P_{общ.}$) в озеро Севан (среднее за 1982–1984 гг.)

Fig. 30. Monthly values of natural surface water runoff (Q), inflows of nitrogen ($N_{общ.}$) and phosphorus ($P_{общ.}$) into Lake Sevan (mean for 1982–1984)

Таблица 14. Месячные и годовые величины естественного поверхностного водного стока и поступления азота и фосфора в озеро Севан (среднее за 1982–1984 гг.)

Месяц	Приток воды		Приток азота			Приток фосфора		
	$м^3 \times 10^6$	%	мг/л	т	%	мг/л	т	%
Январь	40,0	3,7	3,0	120,0	3,0	0,17	6,8	3,7
Февраль	39,0	3,6	3,2	125,0	3,2	0,19	7,4	4,0
Март	43,0	4,0	3,3	142,0	3,5	0,26	11,2	6,0
Апрель	116,0	11,0	3,2	371,0	9,0	0,25	29,0	15,8
Май	251,0	23,5	3,6	904,0	22,5	0,15	37,6	20,4
Июнь	216,0	20,3	3,8	821,0	20,5	0,13	29,0	15,8
Июль	97,0	9,0	4,1	398,0	10,0	0,18	17,5	9,5
Август	50,0	4,6	4,8	240,0	6,0	0,19	9,5	5,2
Сентябрь	46,0	4,4	5,0	230,0	5,7	0,18	8,3	4,5
Октябрь	56,0	5,3	4,7	263,0	6,5	0,18	10,1	5,5
Ноябрь	56,0	5,3	3,7	207,0	5,2	0,16	9,0	5,0
Декабрь	56,0	5,3	3,5	196,0	4,9	0,15	8,4	4,6
За год	**1066**	**100**	**3,76**	**4017**	**100**	**0,18**	**184,0**	**100**

Таблица 15. Поступление азота и фосфора с речным притоком в озеро Севан до 1929 г. и после понижения уровня на 18,8 м (1979–1984 гг.) с учетом и без учета переброски вод р. Арпа (в числителе – поступление, т/год; в знаменателе – средневзвешенные по притоку концентрации, $г/м^3$)

Годы	$N_{мин.}$	$N_{общ.}$	$P_{мин.}$	$P_{общ.}$	$(N/P)_{мин.}$	$(N/P)_{общ.}$
1929	$\frac{229}{0,27}$	$\frac{2106^*}{2,44}$	$\frac{74,0}{0,09}$	$\frac{133^{**}}{0,15}$	3,1	15,8
Среднее за 1979–1980 гг.	$\frac{1660}{2,16}$	$\frac{2950^*}{3,83}$	$\frac{100}{0,13}$	$\frac{145}{0,14}$	16,6	20,3
Среднее за 1982–1984 гг.: без учета р. Арпа	$\frac{2080}{2,80}$	$\frac{3160}{3,00}$	$\frac{95,0}{0,12}$	$\frac{155}{0,19}$	21,9	20,4
с учетом р. Арпа	$\frac{2290}{2,30}$	$\frac{4017}{3,76}$	$\frac{100}{0,11}$	$\frac{184}{0,18}$	22,9	21,8

$^*N_{общ.}$ рассчитывался по формуле: $N_{общ.} = 0,68\ N_{мин.} + 2,26$.
$^{**}P_{общ.}$ рассчитывался по формуле: $P_{общ.} = 1,18\ P_{мин.} + 0,053$.
Регрессионные модели выведены А. Парпаровым.

В силу значительного увеличения концентраций азота существенно изменилось соотношение азота и фосфора в общем притоке. Если в 1929 г. $N_{мин.}/P_{мин.}$ равнялось 3,1, то в 1979–1980 гг. данный показатель возрос в среднем до 16,6, а в 1982–1984 гг. – до 22,9. Соотношение общего азота и фосфора соответственно составило 15,3; 20,3 и 21,8. Видно, что в 1929 г. оно было близко к величине, считающейся оптимальной для развития водорослей (10:1) [Thomas, 1969; Golterman, 1975]; в настоящее время оно увеличилось вдвое (табл. 15).

Представляет интерес сопоставление гидрохимических показателей речного притока с существующими системами классификации качества речных вод [Жукинский и др., 1976, 1977, 1978, 1981, 1984]. Используя указанную классификацию, можно заключить, что по содержанию азота (нитратного) и фосфора речной приток в Севан должен быть отнесен к «грязным» водам, тогда как невысокие значения $БПК_5$, перманганатной окисляемости и аммонийного азота позволяют характеризовать эти воды как «чистые».

Данная классификация не дает возможности однозначно оценить качество вод притоков озера по набору гидрохимических параметров. Однако в целом можно считать, что интенсификация хозяйственной деятельности в бассейне Севана привела к ухудшению качества вод притоков, что, несомненно, сказалось на гидробиологических процессах в озере и качестве его вод.

Краткая гидробиологическая характеристика рек

Реки бассейна озера Севан в биологическом отношении изучены недостаточно. Планктон (фито- и зоопланктон) в притоках озера развит слабо или вовсе отсутствует, так как большую часть года для них характерно быстрое течение. Хорошо развиты макрофиты, зообентос, ихтиофауна и бактериальное население.

Из 28 рек наибольшее биологическое значение имеют относительно многоводные реки: Гаварагет, Цаккар, Личк, Аргичи, Варденис, Масрик и Дзкнагет. В р. Арпа, кроме изучения бактерий [Оганесян и др., 1985б, в], других биологических исследований не проводилось.

Макрофиты. Заросли макрофитов в притоках бассейна озера Севан распределены неравномерно; в некоторых они отсутствуют. У истоков рек макрофитов больше, чем в низовьях. По отчетным данным П.П. Гамбаряна [1984], в верховьях река Гаварагет сплошь заросла рдестом, лютиком, вероникой с общей биомассой 2,0 кг/м^2; ближе к озеру (после г. Камо) заросли занимают только 20 % площади русла с общей биомассой 0,5 кг/м^2. В р. Гаварагет общая биомасса макрофитов не превышает 50 т.

Верховья р. Аргичи заросли водяной гречихой, вероникой, лютиком с общей биомассой 0,5 кг/м^2. В среднем течении преобладают: роголистник, уруть, рдесты, вероника, лютик, хара с общей биомассой до 2,0 кг м^2, –

которые покрывают 70 % русла. В низовьях из-за бурного течения весной и разбора воды на орошение летом растительности почти нет. Общая биомасса макрофитов в р. Аргичи составляет около 100 т.

В р. Макенис площадь зарослей макрофитов (лютики и вероника с биомассой 1,0 кг/м^2) занимает 50 % русла. Общая биомасса макрофитов в реке составляет около 15–20 т.

В верхнем течении р. Масрик почти нет макрофитов (возможные причины этого обсуждаются ниже). Ближе к озеру площадь зарослей макрофитов в этой реке (лютики, вероника, рдест) покрывает 90 % площади русла с биомассой 2,0 кг/м^2. Общая биомасса макрофитов в р. Масрик составляет около 100 т.

Остальные реки по видовому составу и распределению высшей водной растительности сходны с перечисленными выше.

Суммарная биомасса макрофитов в притоках Севана оценивается в 500 т.

Зообентос. Для рек бассейна озера Севан характерно большое разнообразие условий обитания донных организмов. Разнообразие биотопов (скорость течения, грунты, макрофиты и т.д.) определило и значительное разнообразие систематического состава животных бентоса в горных реках бассейна озера. Как видно из таблицы 16, для всех обследованных водотоков характерно наличие личинок ручейников, подёнок, хирономид и жуков. Практически во всех реках обитают гаммарусы и олигохеты; несколько ниже встречаемость личинок мошек и других семейств двукрылых, а также пиявок. Существенное значение для ряда рек имеют веснянки; в некоторых из них встречаются моллюски и планарии. В имеющихся сборах бентоса рек сравнительно редки водяные клещи, водяные клопы и личинки стрекоз. Заключая краткий обзор бентофауны рек бассейна Севана, следует отметить сходство систематического состава бентоса исследованных рек с фауной других горных рек Советского Союза [Бродский, 1976]. Последнее можно объяснить сходством биотопов зообентоса в различных горных потоках.

Рыбы. Видовой состав рыб, населяющих притоки озера Севан, ограничивается всего четырьмя видами: ручьевая форель, севанская форель (ишхан), храмуля и усач.

Озеро Севан и его притоки имеют сходный состав ихтиофауны. Одна из многочисленных популяций ручьевой форели – алабалах – обитает только в притоках озера Севан (реки Гаварагет, Цаккар, Макенис, Масрик и др.) и промыслового значения не имеет [Дадикян, 1971].

Форель ишхан – эндемический полиморфный вид, представленный четырьмя экологическими расами. Две из них, зимний ишхан и боджак, – генеративно-озерные; две другие, летний ишхан и гегаркуни, – генеративно-речные. В притоки озера последние две расы форели заходят только во время нереста: летний ишхан в апреле – июне (реки Цаккар, Личк, Макенис,

Масрик), гегаркуни – в октябре – декабре (реки Гаварагет, Цаккар, Личк, Варденис, Макенис, Масрик, Дзкнагет). В последние 20–25 лет эти форели разводятся исключительно на рыбоводных заводах, поскольку естественное их размножение в реках не происходит. В перечисленные выше реки выпускается молодь форели, где она проводит речной период своей жизни (не более полутора лет) до времени ската в озеро [Смолей и др., 1985]. С 1976 г. промысел форели запрещен, отлов ее в реках производится только для рыбоводных целей. С 1978 г. производители форели после взятия у них половых продуктов выдерживаются в садках и возвращаются в озеро.

Таблица 16. Наличие (+) отдельных групп бентофауны в основных реках бассейна озера Севан – по данным сборов Т.М. Мешковой за 1956–1961 гг., (.) – по данным Г.М. Манукяна за 1985–1990 гг.

Систематический состав	Река							
	Гаварагет	Цаккар	Бахтак	Личк	Варденис	Арцванист	Макенис	Масрик
Планарии		+			+		+.	
Малощетин. черви	+.	+.	+.	+.	+.	+.	+.	+.
Пиявки	+	+.	.	+.	+.	+.	+.	+.
Моллюски		.		+.	.	.	+.	+.
Гаммарусы	+	+.		+.	.	+.	+.	+.
Водян. клещи	+.	+.					+.	.
Подёнки	+	+.	+.	+.	+.	+.	+.	+.
Стрекозы	+	.		.			.	
Веснянки	+	+.				+	+.	
Водян. клопы				+				.
Личинки жуков	+	+	+.	+.	+	+	+.	+
Двукрылые: – хирономиды	+.	+.	+.	+.	+.	+.	+.	+.
– мошки	+	+.			+	+	+.	+.
– прочие	+	+			+		+.	+
Ручейники	+	+.	+.	+.	+.	+.	+.	+.

Храмуля заходит в реки, так же как и форель, только в период нереста (май – июль), причем большая часть созревших особей остается для размножения в прибрежной зоне озера и приустьевых участках. Храмуля выбирает для нереста определенный тип рек с преобладанием снегового питания, резкими колебаниями уровня в зависимости от количества осадков, сильным прогревом летом и охлаждением зимой. Основными нерестовыми

реками храмули являются реки Цаккар, Личк, Аргичи, Мартуни, Варденис, Масрик, Дзкнагет. Естественное размножение храмули в реках занимает значительное место в общем фонде его производства. В период нереста в реках улов храмули составляет около половины от ее общегодового вылова [Смолей, Пивазян, 1983].

Усач заходит в притоки озера Севан (реки Цаккар, Аргичи, Варденис и др.), как форель и храмуля, только во время нереста, но в значительно меньшем количестве, чем до понижения уровня озера, поскольку численность его популяции за прошедшие годы резко снизилась.

В последние годы в реках стал встречаться карась, случайно завезенный в озеро Севан из рыбхозов Араратской долины. В реки он заходит в апреле – июне для размножения [Оганесян, Смолей, 1985].

Таким образом, ручьевая форель постоянно живет в притоках озера Севан, в то время как форель ишхан, храмуля, усач и (в последние годы) карась заходят в реки только в период нереста.

Бактериальное население. Начиная с 1960 г. в бассейне Севана отмечается бурное развитие сельского хозяйства, промышленности и строительство различных рекреационных объектов. В связи с этим увеличилась роль притоков в антропогенном загрязнении озера. Поэтому особое значение приобретает изучение микробиологического состояния притоков озера как важнейшей составляющей механизмов биологического самоочищения.

Микробиологические исследования притоков озера Севан впервые проводились в 1954–1956 гг. М.Е. Гамбаряном [1961].

Нами [Оганесян и др., 1985в] в течение 1982–1983 гг. определялась численность гетеротрофных бактерий в пробах поверхностной воды из устьевых районов рек Гаравагет, Личк, Аргичи, Арпа, Макенис и Масрик (рис. 22). Для количественного учета гетеротрофных бактерий были использованы общепринятые методы [Родина, 1965].

Исследования численности гетеротрофных бактерий в воде притоков Севана показали, что наибольшее их количество обнаруживается в устьевых районах рек Гаварагет (82,5 тыс. кл/мл) и Масрик (66,8 тыс. кл/мл) (табл. 17). Такие величины указывают на умеренную загрязненность этих рек [Драчев, 1964]. Это обусловлено тем, что в бассейнах этих рек расположены многочисленные населенные пункты и обширные площади сельскохозяйственных угодий.

Наименьшее количество бактерий (11,4 тыс. кл/мл) было обнаружено в устьевых районах р. Арпа. Такое низкое количество гетеротрофных бактерий здесь объясняется их небольшим количеством в Кечутском водохранилище (30 тыс. кл/мл; август). Кроме того, наблюдается некоторое уменьшение их численности в самом туннеле (48,0 км), через который протекает р. Арпа (в одновременно взятых пробах в Кечутском водохранилище и в р. Арпа у выхода из туннеля было обнаружено 30,0 и 20,0 тыс. кл/мл соответственно).

Остальные исследованные притоки (реки Личк, Аргичи, Макенис) по численности гетеротрофных бактерий занимают промежуточное положение (табл. 17).

Сравнение результатов наших исследований с данными, полученными в 1954–1956 гг. [Гамбарян, 1961], показывает, что в 1982–1983 гг. численность гетеротрофных бактерий в реках увеличилась: Масрик – почти в 90 раз, Гаварагет – в 60, а Макенис – в 30 раз (табл. 18). Такое увеличение численности гетеротрофных бактерий, очевидно, связано с хозяйственным освоением бассейна озера Севан.

Таблица 17. Средние концентрации гетеротрофных бактерий и пределы их изменений в основных притоках озера Севан по данным за 1982–1983 гг. (тыс. кл/мл)

Река	Пределы колебаний	Среднее за период исследования
Гаварагет	23,0–135,0	82,5
Личк	10,5–49,7	22,8
Аргичи	9,4–37,0	21,0
Арпа	4,4–20,0	11,4
Макенис	10,4–92,0	42,8
Масрик	24,0–135,0	66,8

Таблица 18. Среднее количество гетеротрофных бактерий в воде притоков озера Севан в 1954–1956 гг. [Гамбарян, 1961] и в 1982–1983 гг. [Оганесян и др., 1985в]

Река	Годы		Относительное увеличение
	1954–1956	1982–1983	
Гаварагет	1,38	82,5	60
Макенис	1,30	42,8	33
Масрик	0,75	66,8	89

В сезонной динамике численности гетеротрофных бактерий во всех исследуемых реках выделяется летний максимум (в 2–3 раза больше, чем весной), что, вероятно, связано с маловодностью, а также более высокий температурой воды притоков в период межени при практически сохранившемся уровне антропогенного загрязнения в бассейнах этих рек.

Одновременно с исследованиями по определению численности гетеротрофных бактерий в притоках озера Севан в указанных точках отбора проб определялась температура, электропроводность, бихроматная и перманганатная окисляемость воды [Оганесян и др., 1985в] (рис. 22). Оказалось, что численное значение указанных показателей увеличивается (в 2–3 раза) в тех районах русла, где развито сельское хозяйство (особенно животноводство)

и рекреация. Имеется определенная тенденция уменьшения значения всех показателей по направлению течения рек, что свидетельствует о самоочистительной способности основных притоков озера Севан.

По численности гетеротрофных бактерий в предустьевых и устьевых районах, согласно классификации Жукинского и соавт. [Жукинский и др., 1981; Жукинский, Оксиюк, 1984], р. Арпа относится к удовлетворительно чистым, реки Личк, Аргичи и Макенис – к слабо загрязненным, а Гаварагет и Масрик – к загрязненным.

Влияние хозяйственной деятельности в бассейне озера Севан на процесс его эвтрофирования

Практически любая хозяйственная деятельность на территории водосборного бассейна таит в себе угрозу прямого или косвенного воздействия на гидрохимический и гидробиологический режим водоема. Однако наиболее заметно воздействуют на качество вод загрязнения, которые поступают в водоемы с различными сточными водами и поверхностным стоком с территории водосбора.

Антропогенные источники эвтрофирующих веществ тесно связаны с такими видами деятельности, как промышленное и сельскохозяйственное производство, создание населенных пунктов, включая все виды урбанизации, рекреационная деятельность и др.

Возможный вынос биогенных элементов в водные объекты как в растворенном, так и во взвешенном состоянии во многом зависит от рельефа, гидрометеорологических условий, состава слагающих поверхность пород, характера почвенного и растительного покрова водосборного бассейна, а также от дозы и времени внесения удобрений, их химического состава и от культур, которые занимают сельскохозяйственные угодья.

В последние годы значительно возросло поступление биогенов в природные воды вследствие интенсификации сельскохозяйственного производства с использованием удобрений, применение которых без осуществления соответствующих водоохранных мероприятий имеет нежелательные последствия [Россолимо, 1977; Фальковская и др., 1982; Матвеева, 1983; Popovic, 1985].

Биогенные элементы и токсичные вещества, поступающие в озеро с поверхностными и подземными водами, вызывают изменение характера и интенсивности продуцирования органического вещества. Следствием этого являются глубокие нарушения биотического круговорота, дисбаланс продукционно-деструкционных процессов, изменение структурно-функциональных характеристик водных экосистем и, наконец, существенное ухудшение качества вод, а иногда и гибель рыб (рис. 31) [Оганесян и др., 1986].

Поступление биогенных веществ с водосборного бассейна в озеро Севан ранее исследовалось Е.В. Пастуховой и др. [1984, 1985] на примере

бассейна р. Масрик. Авторами исследовалась величина средней многолетней биогенной нагрузки по азоту и фосфору на единицу площади водосбора реки. Полученные результаты позволили выявить, что резкое увеличение внешней нагрузки произошло в 1965–1967 гг. из-за увеличения применения минеральных удобрений. Ориентировочные расчеты возможного поступления в озеро антропогенного азота и фосфора в 1978 г. проводились Э.Х. Казаряном и К.О. Навасардян, в их работе [1980] показано, что около 90 % азота и 60 % фосфора приходится на долю животноводства и применяемых в бассейне минеральных удобрений.

Территория севанского бассейна (3647 км^2) охватывает пять административных районов: Севанский (444 км^2), им. Камо (637 км^2), Мартунинский (1185 км^2), Варденисский (1151 км^2) и Красносельский (697 км^2). Нужно учесть, что из административной территории Севанского района в бассейн озера Севан входит 310 км^2, из Красносельского – 364 км^2. Административные территории остальных районов полностью входят в пределы бассейна озера.

Рис. 31. Пути миграции биогенных и токсических веществ в экосистеме озера Севан
Fig. 31. Migration pathways of biogenic and toxic substances in Lake Sevan ecosystem

Специфичность строения севанского бассейна определяет ускоренное влияние хозяйственной деятельности на экосистему озера (табл. 19). Эвтрофирующие и токсикологические антропогенные воздействия осуществляются в основном поверхностным стоком. В таблице 20 приводятся основные показатели, определяющие степень потенциально возможного антропогенного влияния того или другого административного района на экосистему озера Севан.

Таблица 19. Некоторые особенности рельефа водосборного бассейна и притоков озера Севан, имеющие значение для ускорения выноса поверхностными и подземными водами загрязняющих веществ антропогенного характера (над чертой – среднее арифметическое, под чертой – пределы изменения)

Административный район	Высота (м) НУБМ, до которой сконцентрирована основная часть (%) бассейнов рек и человеческая деятельность		Уклон склонов, где сконцентрированы сельскохозяйственные угодья	Скорость течения рек в данном административном районе (м/с)	Родниковое питание рек (% общего стока)	Поверхностное питание рек (% общего стока)
	Абсолютная	%				
Севанский	$\frac{2500}{2500}$	94,5	$\frac{10°0'}{9°0' - 11°0'}$	$\frac{1,00}{0,50 - 1,50}$	27,0	73,0
им. Камо	$\frac{2700}{2700}$	75,0	$\frac{9°2'}{9°17' - 9°2'}$	$\frac{0,55}{0,30 - 0,80}$	60,0	40,0
Мартунинский	$\frac{2500}{2300 - 2700}$	80,0	$\frac{13°0'}{9°0' - 17°2'}$	$\frac{1,20}{0,20 - 1,70}$	40,0	60,0
Варденисский	$\frac{2800}{2700 - 2900}$	70,0	$\frac{11°0'}{11°0'}$	$\frac{1,20}{0,50 - 1,50}$	70,0	30,0
Красносельский	$\frac{2600}{2500 - 2700}$	90,0	$\frac{20°0'}{15°0' - 24°0'}$	$\frac{1,20}{0,60 - 1,30}$	40,0	60,0
Среднее по бассейну озера Севан	2700 – 2900	80,0	12°0’	1,00	47,0	53,0

Таблица 20. Некоторые гидрологические показатели территории административных районов севанского бассейна и в пределах бассейнов Малого и Большого Севана

Район	Площадь, км^2	Кол-во рек	Площадь водосбора рек, км^2	Доля (%) водосбора рек от площади района	Q рек многолет., м^3/с	Объем стока в год, м^3 × 10^6	Доля (%) от суммарного притока бассейна
Севанский	310*	1	96	31,0	1,1	34,7	4,45
им. Камо	637	1	480	75,4	3,77	119,0	15,3
Мартунинский	1185	11	1122	94,7	13,2	416,3	53,4
Варденисский	1151	9	950	82,5	6,1	192,3	24,7
Красносельский	364*	6	128	35,2	0,53	16,7	2,15
Бассейн оз. Севан	3647	28	2776	76,1	24,7	779,0	100
Часть М. Севана	920	4	638	69,3	5,2	164	21,0
Часть Б. Севана	2727	24	2138	78,4	19,5	615	79,0

* Приводится та часть административной территории, которая входит в пределы севанского бассейна.

По соотношению величин площадей водосборов рек отдельных административных районов к занимаемой площади данного административного района первое место занимает Мартунинский район (94,7 %), второе – Варденисский, затем – им. Камо, Красносельский и Севанский соответственно. По объему годового естественного стока по отдельным административным районам также наблюдается аналогичный порядок, только вместо Севанского здесь последнее место занимает Красносельский район.

О роли в антропогенном эвтрофировании Севана отдельных частей озера, Малого и Большого Севана, позволяет судить антропогенная нагрузка на отдельные части озера со стороны административных районов. Расчеты показали, что соотношение бассейнов рек, впадающих в Малый Севан, к площади бассейна Малого Севана мало отличается от аналогичного соотношения для Большого Севана (табл. 20). В Малый Севан поступает 21 %, а в Большой 79 % годового стока в озеро. Это означает, что Большой Севан в 3,76 раза больше подвержен антропогенному воздействию за счет хозяйственной деятельности на водосборе, чем Малый Севан.

Население, коммунальное хозяйство и промышленность

На территории бассейна озера Севан проживает свыше 250 тыс. чел. (табл. 21), что составляет 8 % населения республики. В целом по региону в 1975–1980 гг. наблюдалось значительное увеличение городского населения (на 23,4 %), сельского населения – всего на 0,6 %.

В регионе расположено более 50 промышленных и коммунально-бытовых предприятий. Их сточные воды составляют около 40,0 тыс. м^3 в сутки. В бассейне действуют 6 биологических и 12 предварительных очистных сооружений и устройств суммарной производительностью 9,5 тыс. м^3 в сутки. Но и они находятся в неисправном состоянии или действуют не на полную мощность. Поэтому без очистки в Севан и его притоки выбрасывается значительный объем загрязненных сточных вод (более 30,5 тыс. м^3 в сутки).

Оценка относительного значения различных источников антропогенного эвтрофирования нами проводилась по схеме характеристик количественного распределения питательных веществ в условиях Европы [Les bases scientifiques ... 1971; Россолимо, 1975, 1977].

В основу наших расчетов положены статистические данные по плотности населения на 1 км^2. Условно принято равномерное распределение эмиссии соединений азота и фосфора при хозяйственной деятельности. Выделение биогенов в составе продуктов жизнедеятельности при плотности населения 150 чел/км^2 принимается равным в среднем для азота 0,66, а для фосфора 0,08 г/м^2 в год [Россолимо, 1977]. По указанным критериям эти показатели нами увеличены на 10 % за счет городских и дорожных стоков [Шилькрот, 1975а, б] и на такую же величину – за счет промышленных стоков [Vollenweider, 1968]. Вследствие этого принимается поступление азота 0,8, фосфора – 0,1 г/м^2 в год.

По Фоленвайдеру [Vollenweider, 1968], вынос общего азота от одного жителя составляет 5,1 кг в год, а общего фосфора от сельского жителя 0,5 кг в год (1,4 г/сут); от городского жителя 1,0 кг в год (2,8 г/сут). Если к этим величинам добавить вынос азота и фосфора с 1 га от городских и сельских территорий за счет ливневого стока (от 0,5 до 15 кг/год) и 10 % от промышленности [Шилькрот, 1975а, б; Клименко и др., 1981; Расплетина, Гусаков, 1982 и др.], то получается, согласно литературным данным, что от населения, коммунального хозяйства и промышленности в различных регионах вынос азота составляет от 3,0 до 10,0 кг, а фосфора – от 0,6 до 10,0 кг в год.

По нашим расчетам, выполненным вышеуказанным методом, для водосбора Севана величины выноса питательных веществ с 1 га от населения, коммунально-бытового хозяйства и промышленности для азота составляют 4,8 кг, фосфора – 0,6 кг в год. Эти величины близки к минимальным значениям пределов колебаний выноса азота и фосфора, приводимых различными авторами (см. выше), и могут считаться характерными для административных районов бассейна озера, так как здесь преобладает сельское население.

Ниже приводятся количественные показатели поступления азота и фосфора от населения, хозяйственной деятельности и промышленности в севанском бассейне в зависимости от плотности населения в разных административных районах и в бассейне в целом начиная с 1940 г. (рис. 32–34; табл. 21, 22).

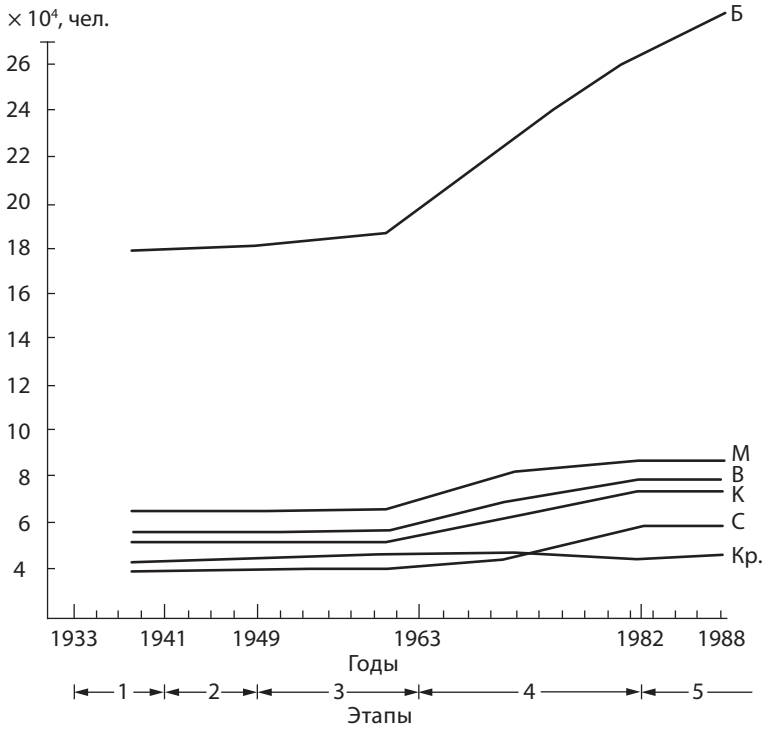


Рис. 32. Численность населения в водосборном бассейне озера Севан (Б) и в его отдельных административных районах (С – Севанский, К – им. Камо, М – Мартунинский, В – Варденисский и Кр. – Красносельский) в период с 1940 по 1985 г.

Fig. 32. Population abundance in Lake Sevan catchment basin (Б) and in its several administrative districts (С – Sevan District, К – the Kamo District, М – Martuni District, В – Vardenis District, and Кр. – Krasnosel'sk District) during the period of 1940–1985

Анализ представленного в таблице 21 материала показывает, что население в административных районах бассейна озера Севан за последние 40–50 лет увеличилось в 1,5–2,0 раза (рис. 32), а в бассейне в целом – в 1,6 раза. За этот период, соответственно, возросло количество азота и фосфора, поступающего в озеро (рис. 33, 34). Несмотря на это в процентном соотношении доля количества азота и фосфора, поступающего в озеро от населения, коммунального хозяйства и промышленности начиная с доспускового периода (39,4 % азота и 88 % фосфора к 1940 г.), постепенно убывает (22,4 % азота и 51,6 % фосфора

к 1985 г.; см. табл. 22) в общем количестве поступающего азота и фосфора от всех указанных источников. Основной объем загрязнения озера азотом и фосфором от указанных источников поступает из административных районов Мартунинского, Варденисского и им. Камо (рис. 33, 34).

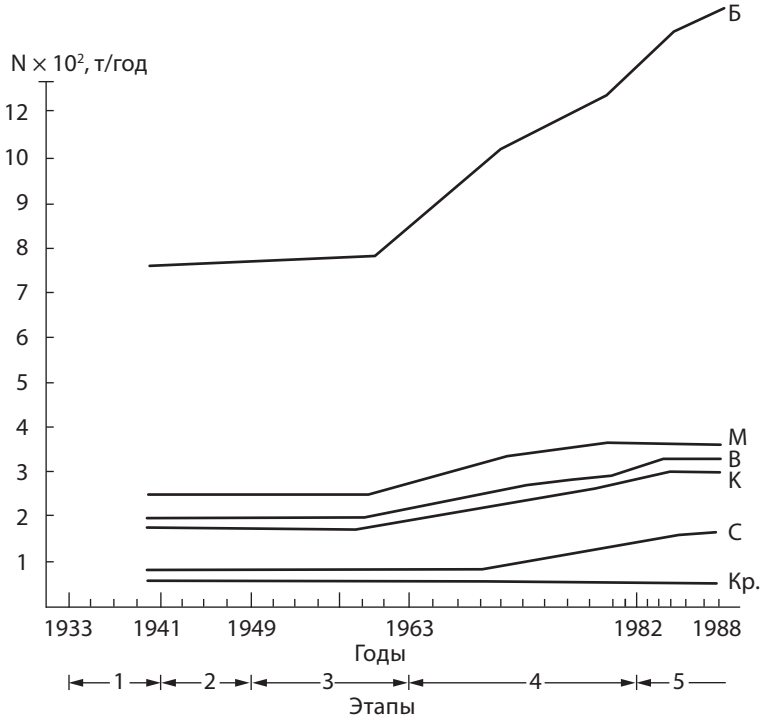


Рис. 33. Поступление азота (т/год) в озеро Севан от населения, коммунального хозяйства и промышленности административных районов и с водосбора озера в целом в период с 1940 по 1985 г. (обозначения см. в подписи к рис. 32)

Fig. 33. Inflow of nitrogen (t/year) into Lake Sevan from population, municipal services and industries of administrative districts, and the lake's water catchment area on the whole for the period of 1940–1985 (for legend see Fig. 32)

Ускоренный прирост населения и соответствующий этому вынос азота и фосфора начался в конце третьего (1960 г.) и продолжился в течение четвертого этапа понижения уровня озера Севан[1] (рис. 33, 34).

[1] Искусственное понижение уровня озера на 18,8 м проведено неравномерно. Учитывая это обстоятельство, период понижения уровня с 1933 г. по настоящее время нами разделен на пять этапов: 1-й – с 1933 по 1940 г.; 2-й – 1941–1948 гг.; 3-й – 1949–1962 гг.; 4-й – 1963–1981 гг. и 5-й – с 1982 г. по настоящее время. Об этом более подробно изложено в параграфе «Изменение морфометрии Севана» главы 4.

Необходимо иметь в виду, что если сегодня антропогенная биогенная нагрузка не имеет решающего значения для загрязнения озера, то в будущем она будет расти в связи с увеличением удельного водопотребления населением и охвата канализацией населенных пунктов, так как к 1990 г. намечается довести общий уровень водоотведения в городах и райцентрах до 80 %, а в сельских местностях – до 60 %.

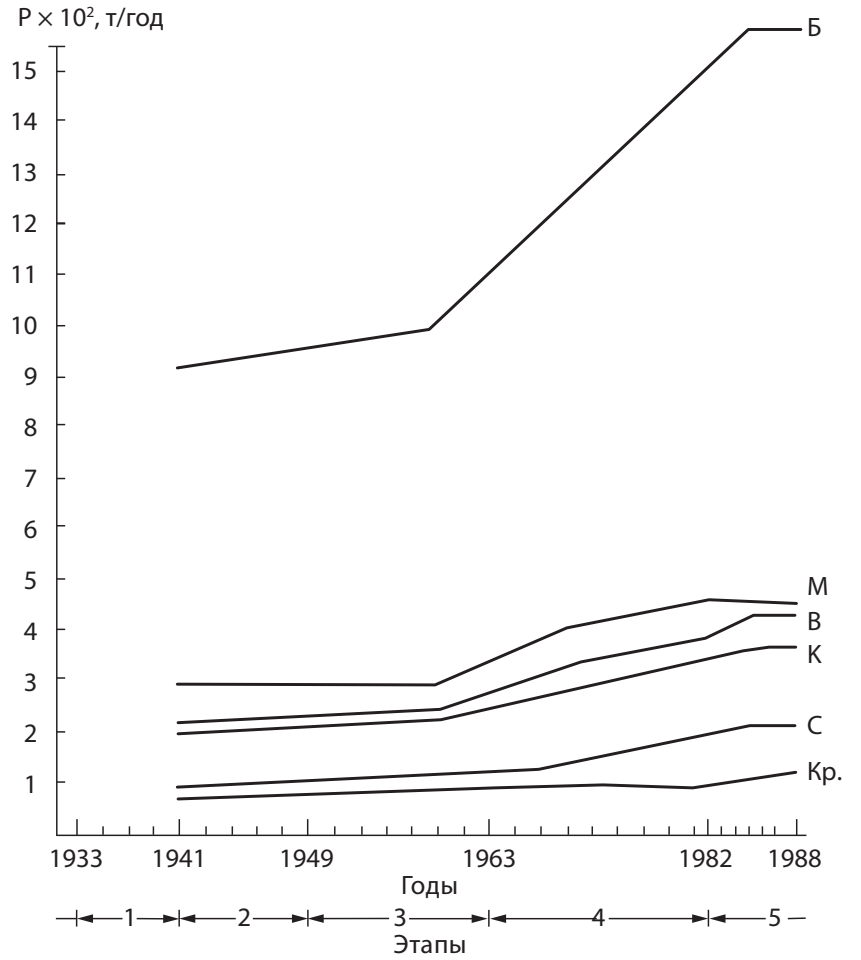


Рис. 34. Поступление фосфора (т/год) в озеро Севан от населения, коммунального хозяйства и с водосбора озера в целом в период с 1940 по 1985 г. (обозначения см. в подписи к рис. 32)

Fig. 34. Inflow of phosphorus (t/year) into Lake Sevan from population, municipal services, and the lake's water catchment area on the whole for the period of 1940–1985 (for legend see Fig. 32)

Таблица 21. Численность (Ч, тыс. чел.) и плотность (П, чел/км^2) населения в различных административных районах и в бассейне озера Севан в целом в период с 1940 по 1990 г.

Год	Административные районы и занимаемая ими площадь, км^2										Весь бассейн озера Севан	
	Севанский		им. Камо		Мартунинский		Варденисский		Красносельский			
	444		636		1185		1151		697		4119	
	Ч	П	Ч	П	Ч	П	Ч	П	Ч	П	Ч	П
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1940	20,0	45,0	34,0	53,5	46,0	39,0	35,0	30,4	23,0	33,0	158,0	40,2
1650	21,0	47,3	35,0	55,0	46,0	39,0	36,0	31,3	24,0	34,0	162,0	41,3
1960*	22,0	49,5	35,5	56,0	47,0	39,6	37,0	32,2	25,0	36,0	167,0	43,0
1961	23,0	52,0	36,5	57,4	49,0	41,4	38,0	33,0	25,0	36,0	171,0	44,0
1962	23,0	52,0	37,0	58,0	50,0	42,0	39,0	34,9	25,0	36,0	174,0	44,0
1963	23,0	52,0	38,0	60,0	52,0	44,0	41,0	36,0	26,0	37,0	180,0	46,0
1964	24,0	54,0	38,5	60,5	54,0	45,5	42,0	36,5	25,0	36,0	184,0	46,5
1965	24,0	54,0	39,5	62,1	56,0	47,3	44,0	38,2	26,0	37,0	190,0	48,0
1966	25,0	56,3	40,0	63,0	58,0	49,0	46,0	40,0	26,0	37,0	195,0	49,1
1967	27,0	61,0	41,0	64,5	59,0	50,0	48,0	41,7	27,0	39,0	202,0	51,2
1968	26,0	58,5	41,5	65,2	60,0	51,0	49,0	42,5	26,0	37,0	203,0	51,5
1969	26,0	58,5	42,5	67,0	62,0	52,3	51,0	44,3	27,0	39,0	209,0	52,2
1970	26,0	58,5	43,0	68,0	62,0	52,3	49,0	42,5	26,0	37,0	206,0	52,0
1971	27,0	61,0	44,0	69,0	63,0	53,2	50,0	43,4	25,5	36,0	210,0	53,0
1972	28,0	63,0	45,0	71,0	64,0	54,0	51,0	44,3	24,5	36,0	213,0	54,0

Окончание табл. 21

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1973	29,0	65,3	46,0	72,3	65,0	55,0	52,0	45,2	24,0	34,0	216,0	54,4
1974	30,0	67,6	47,0	74,0	65,0	55,0	53,0	46,0	23,5	33,0	219,0	55,1
1975	31,0	70,0	48,0	75,5	65,0	55,0	54,0	47,0	23,0	33,0	221,0	56,1
1976	31,0	70,0	48,0	75,5	66,0	56,0	54,0	47,0	26,0	37,0	225,0	57,1
1977	32,0	72,0	49,0	77,0	67,0	56,5	54,0	47,0	26,0	37,0	228,0	58,0
1978	32,0	72,0	50,0	78,6	68,0	57,4	55,0	48,0	26,0	37,0	231,0	59,0
1979	37,0	83,0	50,0	78,6	66,0	56,0	56,0	48,6	26,0	37,0	235,0	61,0
1980	38,0	85,6	51,0	80,2	67,0	56,5	57,0	49,5	27,0	39,0	240,0	62,2
1981	39,0	88,0	53,0	83,3	67,0	56,5	57,0	49,5	26,0	37,0	242,0	63,0
1982	40,0	90,0	53,0	83,3	67,0	56,5	58,0	50,4	28,0	40,0	246,0	64,0
1983	41,0	92,3	53,0	83,3	67,0	56,5	58,0	50,4	28,0	40,0	247,0	64,5
1984	42,0	94,6	53,0	83,3	67,0	56,5	59,0	51,3	28,0	40,0	249,0	65,2
1985	42,3	95,2	55,8	88,0	67,0	56,5	60,0	52,1	28,1	4030	253,0	67,0
1986	42,7	96,2	56,4	88,7	67,9	53,3	60,2	52,3	27,9	40,0	255,1	69,9
1987	43,2	97,3	57,1	89,8	67,8	57,2	60,4	52,5	27,7	39,7	256,2	70,2
1988	44,0	99,1	59,2	93,1	69,2	58,4	59,1	51,3	26,5	38,0	258,0	70,7
1989	44,9	101,1	62,0	98,1	76,3	64,4	39,3	34,1	18,0	25,8	241,0	58,6
1990	46,1	104,0	63,6	99,8	77,4	65,3	42,9	37,2	26,0	37,3	256,0	62,2

* Численность и плотность населения с 1950 по 1960 г. изменяются незначительно и варьируют между значениями численности и плотности в 1950 г. и в 1960 г., поэтому они не приводятся.

Таблица 22. Поступление азота и фосфора (т/год) в озеро Севан от населения, коммунального хозяйства и промышленности административных районов и с бассейна в целом в период с 1940 по 1990 г.

Год	Административные районы										Со всего бассейна озера Севан	
	Севанский		им. Камо		Мартунинский		Варденисский		Красносельский			
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1940	75	9	182	23	247	31	187	23	64	8	755	94
1650	78	10	187	23	247	31	192	24	67	8	771	96
1960*	81	11	190	24	247	31	197	25	70	9	785	100
1961	86	11	195	24	261	33	203	25	70	9	815	102
1962	86	11	197	25	265	33	208	26	70	9	826	104
1963	86	11	204	25	278	35	221	28	72	9	861	108
1964	90	11	205	26	288	36	224	28	70	9	877	110
1965	90	11	211	26	299	37	235	29	72	9	907	112
1966	93	12	214	27	310	39	246	32	72	9	935	119
1967	109	13	219	27	316	40	256	32	75	9	975	121
1968	97	12	211	28	322	40	261	33	71	9	962	122
1969	97	12	227	28	330	41	272	34	75	9	1001	124
1970	97	12	231	29	330	41	261	33	71	9	990	124
1971	101	13	234	29	336	42	264	33	70	9	1005	126
1972	104	13	240	30	341	43	272	34	70	9	1027	129
1973	109	13	245	31	348	44	278	35	66	9	1046	132
1974	112	14	251	31	348	44	282	35	64	8	1057	132
1975	116	15	256	32	348	44	289	36	64	8	1073	135
1976	116	15	256	32	354	44	289	36	72	9	1087	136
1977	119	15	261	33	357	45	289	36	72	9	1098	138
1978	120	15	261	33	344	43	295	37	72	9	1092	137

Окончание табл. 22

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1979	140	18	267	33	354	44	298	37	71	9	1130	141
1980	142	18	272	34	357	45	304	38	75	9	1150	144
1981	146	18	282	35	357	45	304	38	72	9	1161	145
1982	150	19	283	35	357	45	309	39	78	10	1177	148
1983	153	19	283	35	357	45	309	39	77	10	1179	148
1984	157	20	283	35	357	45	315	39	77	10	1189	149
1985	158	20	298	37	362	45	362	45	77	10	1257	157
1986	159	20	301	38	362	45	361	40	78	10	1221	153
1987	161	20	305	38	361	45	322	40	77	10	1226	153
1988	164	20	316	39	369	46	319	39	74	9	1238	153
1989	167	21	333	42	407	51	209	26	50	6	1166	146
1990	202	25	339	43	413	51,5	228	28,5	72,4	9	1363	170

* С 1950 по 1960 г. изменения незначительны; их величины варьируют между величинами 1950 г. и 1960 г., поэтому они не приводятся.

По данным «Армгидропроекта», водоотведение в 1990 г. по сравнению с 1980 г. увеличилось в 2 раза. И хотя предусмотрено все сточные воды подвергать биохимической очистке, загрязненность вод Севана от коммунальных и промышленных сточных вод останется в лучшем случае на уровне 1980 г. Поэтому уже в ближайшие 10 лет это может иметь решающее значение для стимулирования процессов эвтрофирования дестабилизированной экосистемы озера.

В проблеме предотвращения загрязнения озера и его притоков важную роль может сыграть строительство кольцевого канализационного коллектора, который, однако, не решит ее полностью вследствие неканализованности большинства населенных пунктов. Отрицательная сторона этого мероприятия заключается еще и в том, что коллектор будет работать в напорном режиме с ежегодным безвозвратным забором определенного количества озерной воды. К тому же его строительство (протяженность 280 км) будет растянуто на большой период времени.

Поэтому, на наш взгляд, для предохранения озера Севан от поступления биогенных веществ, содержащихся в коммунально-бытовых и промышленных стоках, и для повышения эффективности очистки с экономической и санитарной

точек зрения необходимо раздельно подвергать очистке промышленные и бытовые сточные воды, после чего их можно использовать для орошения. Известно, что при этом урожайность сельскохозяйственных культур повышается на 30 % по сравнению с орошением речными водами [Банин, 1977].

Орошение очищенными сточными водами и переход на оборотное водоснабжение в промышленности, несомненно, будут способствовать, с одной стороны, экономному использованию водных ресурсов маловодных притоков озера, а с другой – интенсификации сельскохозяйственного производства.

Сельское хозяйство

Вопросы сельскохозяйственного природопользования особенно важны, так как среди всех видов хозяйственной деятельности в бассейне озера Севан основным источником биогенного загрязнения является сельское хозяйство – животноводство и растениеводство.

Исследования с целью получения количественной оценки поступления азота и фосфора в водоемы показали, что в условиях длительного применения высоких доз минеральных удобрений в поверхностные и грунтовые воды поступает до 20 % внесенного азота и до 1,5–2 % фосфора [Россолимо, 1977]. По данным венгерских ученых [Пустаи и др., 1976], в результате водной эрозии на склонах теряется в среднем до 20 % азота, 2–5 % фосфора и 10–70 % калия, внесенных с минеральными удобрениями. В Канаде вынос азота с сельскохозяйственных угодий составляет в среднем 15 кг/га, во Франции 30–182 кг/га, а в Нидерландах при средней дозе внесения азота 124 кг/га с водами поверхностного стока уносится от 5 до 25 % [Никитин, Новиков, 1980]. Фосфорные удобрения вымываются в меньшей степени – не более 10 кг/га [Буров, 1971; Шилькрот, 1975а, б].

Весьма интересна попытка оценить вынос азота и фосфора с сельскохозяйственных угодий в орошаемых и неорошаемых условиях и с богарных водосборов, сделанная М.Н. Тарасовым и др. [1983]. По этим данным, с одного гектара орошаемых массивов выносится 1–20 кг азота и 0,03–1,4 кг фосфора в год, что составляет 1,0–20 % и 1,0 % от применяемых удобрений. С богарных водосборов выносится 0,01–5,0 кг азота и 0,001–0,15 кг фосфора. Наибольший вынос наблюдается при внесении удобрений на поверхность снега (до 24 %).

На процесс выноса биогенов влияет и химический состав внесенного удобрения: при применении нитрата аммония вынос в 2–3 раза выше, чем при применении мочевины. Вынос азота в 1,5–2,0 раза увеличивается и при возрастании интенсивности дождей, поэтому максимальный вынос происходит во время половодья. В растворенном виде наибольший вынос

биогенных элементов наблюдается на посевах озимых культур в период весеннего снеготаяния, наименьший – на зяби, а с твердым стоком наибольший – на зяби [Коплан-Дикс и др., 1985]. Следует отметить, что фосфор, в отличие от азота, вымывается из почв в очень незначительных количествах вследствие плохой растворимости его соединений и закрепления в верхних почвенных горизонтах. Поэтому вынос его из почв может быть значительным только при эрозии почв, то есть в результате смыва верхнего почвенного горизонта. Вынос азота из почв достигает значительных величин как при вымывании его фильтрующимися водами, так и при водной эрозии [Шилькрот, 1975а, б].

Обобщение литературных материалов позволяет заключить, что количество соединений азота и фосфора, выносимых из почв в растворенном и во взвешенном состоянии, регулируется многими факторами, главным образом величиной водного стока, занятостью почв растениями, агрометеорологическими условиями местности. Для культурных почв, помимо сказанного, огромное значение приобретают формы агротехники, дозы удобрений и длительность их применения.

Учитывая сказанное, а также специфичность рельефа и климатические условия севанского бассейна, мы попытались определить величину коэффициента выноса азота и фосфора с орошаемых и неорошаемых сельскохозяйственных угодий.

Характерные особенности водосборного бассейна Севана, способствующие выносу биогенных элементов в сравнительно больших количествах, чем на равнинных водосборах, как частично уже было отмечено в предыдущих параграфах, следующие:

– бассейны всех притоков озера составляют 76 % от водосбора озера в целом (табл. 20);

– основная часть бассейнов рек (80–90 %) находится до высоты 2600 м НУБМ (табл. 19). Именно в этой зоне сконцентрирована хозяйственная деятельность всех административных районов в бассейне Севана (рис. 8; табл. 19). 70 % сельскохозяйственных угодий расположено от 2000 м до 2400 м НУБМ;

– уклон склонов бассейна в среднем составляет 12° (от 9° до 24°; см. табл. 19);

– среднегодовая сумма осадков до 2600 м НУБМ составляет от 450 до 700 мм (рис. 18, 19);

– соотношение подземных (родниковых) и поверхностных (талых и дождевых) вод в общем стоке рек составляет 47 и 53 % соответственно (табл. 19);

– скорость течения притоков озера в среднем по бассейну составляет 1,0 м/с (0,2–1,7 м/с; см. табл. 19);

– КПД орошаемой воды в бассейне составляет 0,56 (0,75 до почвы и 0,75 в почве), то есть потеря составляет 44 % орошаемой воды;

– подземный приток в озеро составляет, по приближенным оценкам, 100×10^6 м^3 воды, из которого 70×10^6 м^3 поступает в озеро из напорных водоносных горизонтов, а остальные 30×10^6 м^3 – грунтовые воды и воды первого слабонапорного горизонта [Айнбунд, 1986], куда в основном диффундируют питательные вещества с поверхности почв;

– прогрессирующая эрозия почв в бассейне озера в результате нерационального использования кормовых угодий, усиления нагрузки на плодородный слой почв и низкой культуры использования удобрений.

Учитывая вышеизложенное, коэффициент выноса, определяющий, какая часть азота и фосфора с сельхозугодий различными путями попадает в озеро, принимается нами для азота 30 % действующего вещества, а для фосфора 3 % действующего вещества.

Следует отметить, что минеральные удобрения в водоемы поступают в течение года неравномерно (рис. 30). Наблюдения показывают [Разработка методов … 1979], что в районах с устойчивым снежным покровом, каким является бассейн озера Севан, с талыми водами выносится 66 % общего азота и 45 % фосфора, при соотношении в стоке подземных (родниковых) и поверхностных (талых и дождевых) вод 32 и 68 % соответственно. Раннее применение азотных удобрений увеличивает их вынос в 2 раза. Соотношение подземных и поверхностных вод основных притоков озера Севан приводится в таблице 19.

• *Животноводство*

В эвтрофировании водоемов немаловажное значение имеет животноводство как один из основных источников поступления в воду избыточного количества биогенных веществ. Высокое содержание азота и фосфора в экскрементах домашних животных (табл. 23) позволяет считать этот источник поступления биогенных элементов фактором загрязнения окружающей среды вообще и эвтрофирования водоемов в частности. Поэтому необходимо знать, какая часть биогенов в отходах сельскохозяйственных животных с поверхностными и грунтовыми водами попадает в водоем в условиях бассейна озера Севан.

Согласно исследованиям Холта и Тиммонса [Holt, Timmons, 1970], содержание питательных веществ в стоках животноводческих ферм с ливневыми дождями может достигать достаточно высокого уровня (30–50 мг Р/л). По содержанию биогенных веществ средний животноводческий комплекс на 100 тыс. голов свиней и 35 тыс. голов крупного рогатого скота дает ежегодный сток, аналогичный по величине неочищенному стоку города с населением 350 тыс. чел. [Воронов, 1963]. Количество отходов, образующихся на животноводческих комплексах и фермах, значительно превышает объем бытовых отходов. В СССР ежегодно образуется миллион тонн навоза, что эквивалентно количеству загрязнений от 1,1–1,2 млрд чел. населения [Ласкорин и др., 1975], на фермах США – около 2 млрд т отходов (в 10 раз больше бытовых), во Франции – 130 млн т, в Дании – 45–50 млн т [Loehr, 1972].

Согласно расчетам Фолленвайдера [Vollenweider, 1970], на среднезагруженных пастбищах животными вносится в почву 10 г/м^2 азота и 1,45 г/м^2 фосфора. Из этого количества 10–20 % азота (1–2 г/м^2) и 1–5 % фосфора (0,015–0,075 г/м^2) ежегодно попадают в поверхностные и грунтовые воды. Г.Ф. Расплетина и Б.Л. Гусаков [1982] считают, что вынос фосфора от животноводства составляет 1,5 % от вносимых в поля органических удобрений.

Для количественной оценки роли животноводства как источника питательных веществ нами были использованы расчеты Фолленвайдера [Vollenweider, 1970] по содержанию общего азота и фосфора в экскрементах различных сельскохозяйственных животных (табл. 23).

Таблица 23. Количество общего азота и фосфора в экскрементах различных сельскохозяйственных животных (кг/год на 1000 кг живого веса) [Vollenweider, 1970]

Домашние животные	Экскрет, общий вес, кг/год	Азот		Фосфор	
		абсолют., кг	%	абсолют., кг	%
Крупный рогатый скот	27000	156	0,6	17	0,06
Свиньи	30000	150	0,5	45	0,14
Овцы	12600	119	0,94	20	0,15
Куры	8600	85	0,9	31	0,36

Используя приведенные в таблице 23 оценки и статистические данные по состоянию животноводства в пяти административных районах севанского бассейна, мы рассчитали количество азота и фосфора, поступающее во внешнюю среду с экскрементами животных. От этого количества азота и фосфора с учетом принятых выше коэффициентов 0,3 и 0,03 рассчитывали количество азота и фосфора, поступающего в озеро Севан с поверхностными и грунтовыми водами от животноводства (рис. 35–37; табл. 24, 25).

В севанском бассейне, по данным Центрального статистического управления (ЦСУ), сосредоточено 15,4 % поголовья крупного рогатого скота, 16,5 % коров, 20,7 % овец и коз, 2,0 % свиней и 8,2 % птицы республики. В настоящее время общее число голов крупного рогатого скота (КРС) составляет 135 тыс., мелкого рогатого скота (МРС) – 405 тыс. и птиц – 530 тыс. голов. Больше половины поголовья скота приходится на Варденисский и Мартунинский районы (рис. 35; табл. 24).

К 1985 г. количество скота и птицы по сравнению с 1940 г. (конец первого этапа понижения уровня озера) увеличилось в 3,18 раза (КРС – в 1,26; МРС – в 2,28 и птицы – в 10,0 раза) (рис. 35; табл. 24).

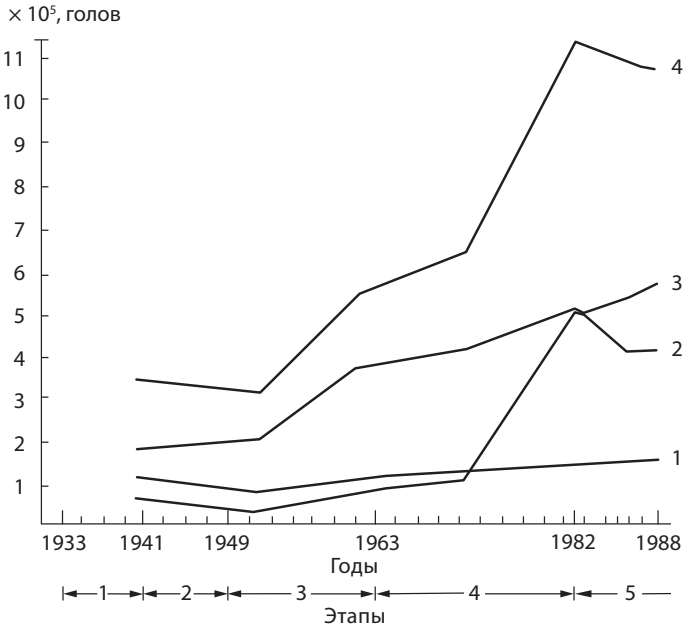


Рис. 35. Динамика поголовья скота и птицы на водосборе Севана в период с 1940 по 1985 г. (1 – крупный, 2 – мелкий рогатый скот, 3 – птица, 4 – всего голов)

Fig. 35. Dynamics of cattle and poultry populations in Lake Sevan water catchment area from 1940 to 1985 (1 – cattle; 2 – small cattle; 3 – poultry; 4 – total)

Количество азота и фосфора, поступающих в озеро от животноводства, в этот же период увеличилось соответственно в 1,50 и 1,62 раза (рис. 36, 37; табл. 25).

Рост численности скота и птицы, а также количества азота и фосфора, поступающего от них в озеро, отмечался в начале третьего этапа (1950 г.) и продолжался весь четвертый этап (до 1982 г.) понижения уровня озера. С начала пятого этапа роста численности скота и птицы не происходит (рис. 35).

В процентном отношении доля азота и фосфора, поступающих в озеро Севан от животноводства, в общем количестве азота и фосфора, поступающих от всех источников, по сравнению с доспусковым периодом уменьшилась в два раза (59,5 % азота и 12 % фосфора в 1940 г., 30 % и 7 % соответственно в 1985 г.) (табл. 25).

Растущее загрязнение озера Севан азотом и фосфором от отходов животноводства обусловлено следующими обстоятельствами.

1. В бассейне озера основной базой животноводства являются горные пастбища, которые находятся на крутых склонах бассейна. Нормальной нагрузкой пастбищ в расчете на единицу площади считается 0,6–0,7 условных голов скота. В бассейне озера Севан в целом и в его отдельных административных районах пастбища перегружены в 1,5–3,0 раза.

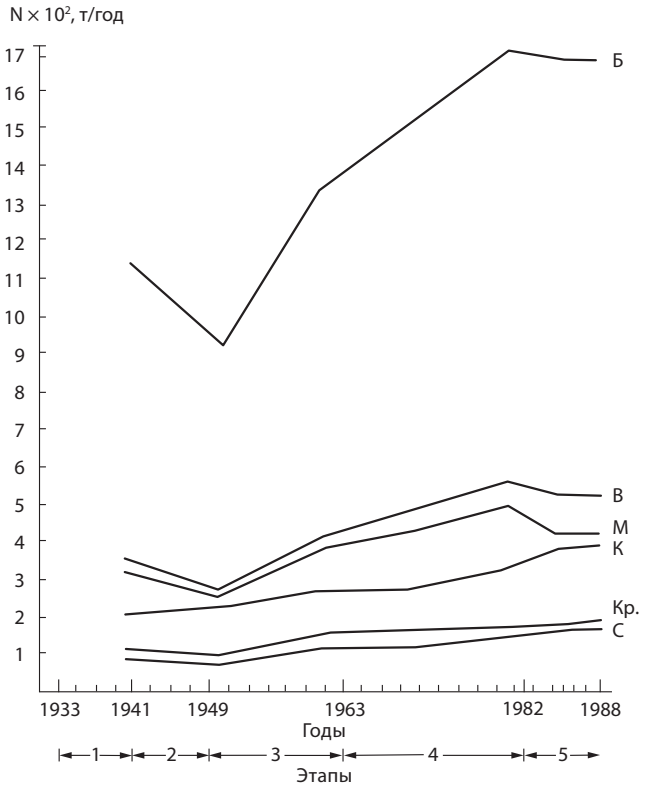


Рис. 36. Поступление азота (т/год) в озеро Севан от животноводства в административных районах и в водосборе озера в целом в период с 1940 г. по 1985 г. (обозначения см. на рис. 32)

Fig. 36. Inflow of nitrogen (t/year) into Lake Sevan from cattle-breeding in administrative districts and the lake's water catchment area on the whole for the period of 1940–1985 (for legend see Fig. 32)

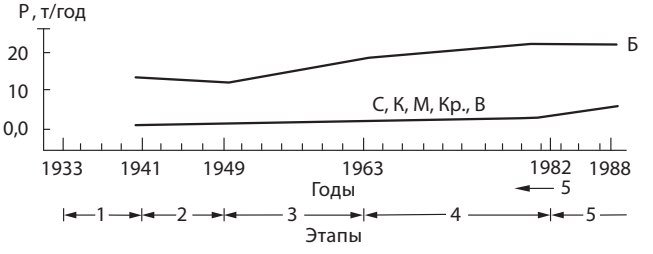


Рис. 37. Поступление фосфора (т/год) в озеро Севан от животноводства в административных районах и с водосбора озера в целом в период с 1940 по 1985 г. (обозначения см. на рис. 32)

Fig. 37. Inflow of phosphorus (t/year) into Lake Sevan from cattle-breeding in administrative districts and the lake's water catchment area on the whole for the period of 1940–1985 (for legend see Fig. 32)

Таблица 24. Численность скота и птицы (тыс. голов), а также сопутствующий вынос азота и фосфора (т/год) в бассейне озера Севан в период с 1940 по 1990 г.

Год	Крупный рогатый скот			Мелкий рогатый скот			Птиц			Всего		
	Численность	N	P	Численность	N	P	Численность	N	P	Численность	N	P
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1940	107	912	9,1	177	225	3,6	52	2,3	0,09	336	1139	13
1950	75	641	6,5	203	258	4,0	20	1,0	0,04	298	900	11
1951	76	648	6,5	204	263	4,0	23	1,0	0,04	303	912	11
1952	79	680	6,8	228	291	4,6	25	1,1	0,05	332	972	12
1953	86	736	7,5	223	283	4,4	24	1,1	0,05	333	1020	12
1954	86	730	7,3	259	326	5,2	18	0,8	0,05	363	1057	13
1955	92	785	7,8	282	356	5,6	17	0,8	0,05	391	1142	13
1956	96	818	8,2	309	392	5,8	17	0,8	0,03	422	1211	14
1957	100	852	8,5	328	416	6,5	10	0,3	0,01	438	1268	15
1958	102	869	8,7	300	379	5,7	30	2,0	0,6	432	1250	15
1959	103	878	8,7	315	400	5,8	38	2,0	0,5	456	1280	15
1960	104	886	8,8	356	441	7,0	66	3,0	0,10	526	1330	16
1961	101	858	8,6	353	439	7,1	65	3,0	0,13	519	1300	16
1962	104	886	8,9	357	445	7,3	84	3,4	0,14	545	1334	16
1963	102	867	9,2	392	492	7,8	104	4,6	0,18	598	1363	17
1964	107	910	9,2	426	533	8,4	117	5,0	0,19	650	1448	18
1965	113	963	9,6	426	531	8,4	109	4,4	0,17	648	1498	18
1966	116	990	9,9	425	532	8,5	103	4,0	0,16	644	1526	18
1967	117	996	9,9	420	522	8,3	103	4,0	0,15	640	1522	18
1968	120	1022	10,3	429	544	8,5	–	–	–	549	1566	19

Окончание табл. 24

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1969	122	1039	10,6	432	549	8,7	–	–	–	554	1588	19
1970	117	966	9,9	408	518	8,3	–	–	–	525	1514	18
1971	112	951	9,5	414	525	8,5	114	4,4	0,18	640	1480	18
1972	115	979	9,7	452	573	9,1	112	4,2	0,16	679	1556	19
1973	119	1014	10,1	482	612	9,8	139	6,2	0,20	740	1632	20
1974	118	1011	10,0	504	640	10,3	135	5,0	0,20	757	1656	21
1975	112	953	9,5	480	616	9,7	113	4,4	0,18	705	1573	19
1976	111	943	9,5	485	619	10,0	116	4,3	0,18	712	1566	20
1977	113	961	9,5	494	632	10,1	385	13,0	0,16	992	1606	20
1978	120	1022	10,2	512	650	10,6	485	16,0	0,70	1117	1688	22
1979	119	1013	10,2	498	640	10,2	457	16,0	0,60	1074	1669	21
1980	123	1048	10,4	502	638	10,3	494	17,0	0,70	1119	1703	21
1981	120	1010	10,2	458	581	9,3	498	17,0	0,70	1076	1608	20
1982	120	1022	10,2	473	600	9,7	469	16,0	0,60	1062	1638	20
1983	128	1088	10,8	465	593	9,4	459	16,0	0,50	1052	1697	21
1984	133	1137	11,4	445	567	8,9	492	16,0	0,60	1070	1720	21
1985	135	1151	11,6	405	514	8,5	530	20,0	0,70	1070	1685	21
1986	136,3	1595	17,3	401,6	573	9,6	642	49,6	1,8	1180	2218	28,7
1987	130,2	1523	16,6	384,4	549	9,2	461	35,6	1,2	976	2108	27,0
1988	121,5	1422	15,4	322,3	460	7,7	36	2,8	0,1	480	1849	23,2
1989	113,7	1330	14,5	306,4	438	7,3	28	2,1	0,07	448	1770	22
1990	103,4	1210	13,2	277,1	396	6,6	32	2,5	0,09	413	1609	20

Таблица 25. Поступление азота и фосфора (т/год) в озеро Севан от животноводства административных районов и севанского бассейна в целом в период с 1940 по 1985 г.

Год	Севанский		им. Камо		Мартунинский		Варденисский		Красносельский		Со всего бассейна озера Севан	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1940	95	1,1	203	3,7	348	3,7	324	3,7	109	1,3	1139	13
1950	78	0,9	230	2,8	247	2,7	250	3,3	95	1,0	900	11
1951	79	0,9	231	2,8	250	2,9	254	3,3	98	1,1	912	11
1952	81	0,9	252	3,0	262	3,1	276	3,3	101	1,2	972	12
1953	86	1,0	252	3,0	285	3,4	270	3,4	118	1,2	1020	12
1954	94	1,1	262	3,2	306	3,5	275	3,3	120	1,4	1057	13
1955	100	1,2	273	3,3	339	3,7	305	3,6	125	1,5	1142	13
1956	104	1,2	274	3,3	372	4,2	327	4,0	134	1,6	1211	14
1957	103	1,3	271	3,3	390	4,5	364	4,3	140	1,7	1268	15
1958	103	1,3	260	3,1	378	4,3	369	4,4	140	1,7	1250	15
1959	109	1,3	273	3,3	382	4,4	373	4,5	143	1,7	1280	15
1960	113	1,3	274	3,3	401	4,7	396	4,9	146	1,8	1300	16
1961	110	1,3	262	3,2	389	4,6	396	4,9	143	1,8	1300	16
1962	109	1,3	244	3,0	396	4,7	407	4,9	178	1,7	1334	16
1963	116	1,4	261	3,3	412	5,0	431	5,2	143	1,8	1363	17
1964	122	1,4	265	3,5	459	5,6	449	5,6	153	1,9	1448	18
1965	127	1,4	290	3,6	456	5,6	464	5,6	161	2,0	1498	18
1966	127	1,4	290	3,6	456	5,6	464	5,6	161	2,0	1498	18
1967	134	1,5	304	3,7	442	5,2	474	5,9	168	2,1	1522	18

Окончание табл. 25

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1968	137	1,6	298	3,6	463	5,4	498	5,9	170	2,1	1566	19
1969	143	1,6	298	3,7	468	5,5	507	6,0	172	2,1	1588	19
1970	125	1,4	285	3,5	431	5,2	497	6,2	176	1,9	1514	18
1971	125	1,5	281	3,5	432	5,2	489	6,1	153	1,9	1480	18
1972	132	1,5	297	3,7	454	5,5	510	6,4	163	2,0	1556	19
1973	141	1,7	314	3,9	477	5,8	533	6,7	167	2,2	1632	20
1974	144	1,7	323	4,0	489	5,9	532	6,8	168	2,1	1656	21
1975	134	1,5	313	3,8	474	5,6	495	6,4	157	2,1	1573	19
1976	135	1,6	301	3,7	476	5,8	492	6,3	162	2,3	1566	20
1977	145	2,0	308	3,8	468	5,7	521	6,8	164	2,0	1606	20
1978	152	2,2	326	4,0	486	6,2	558	7,2	166	2,6	1688	22
1979	144	2,0	326	4,0	476	5,8	555	7,1	168	2,1	1669	21
1980	152	2,2	335	4,1	490	5,9	554	7,1	172	2,1	1703	21
1981	154	2,2	323	3,9	456	5,5	506	6,4	169	2,1	1608	20
1982	152	2,1	334	4,1	443	5,4	537	6,6	172	2,1	1638	20
1983	156	2,1	357	4,3	461	5,6	546	6,8	177	2,1	1697	21
1984	162	2,2	362	4,3	456	5,5	558	6,8	182	2,2	1720	21
1985	165	2,6	377	3,4	430	5,2	541	7,6	172	2,1	1685	21
1986	387	7,5	398	5,2	502	6,3	639	8,4	394	5,0	2218	28,7
1987	341	7,0	382	5,0	486	6,2	617	8,1	354	4,6	2108	27,0
1988	405	6,7	453	5,8	502	6,2	416	5,3	277	3,6	1849	23,2
1989	328	5,9	390	5,1	475	5,7	419	5,3	269	3,8	1770	22,0
1990	326	4,5	360	4,7	430	5,3	391	5,2	211	6,4	1609	20,0

2. Почти все 1230 животноводческих ферм, расположенных в долинах рек – притоках озера Севан, не имеют навозохранилищ и являются источниками загрязнения озера органическими соединениями, особенно в период весенних и осенних паводков.

3. Нерациональное использование природных кормовых угодий, в особенности пастбищ, привело к существенному снижению их продуктивности, уничтожению плодородного покрова и, как следствие, ускорению эрозионных процессов.

Таким образом, большая крутизна водосборных склонов озера (табл. 19), перегруженность пастбищ в 1,5–3,0 раза, расположение животноводческих ферм в бассейнах рек без защитных сооружений и увеличение интенсивности эрозии почв по всему бассейну создают благоприятные условия для попадания в озеро большого количества органических и минеральных форм азота и фосфора с поверхностными и подземными водами. Следует учесть, что в ближайшие годы из-за дальнейшего развития сельского хозяйства биогенная нагрузка будет расти и иметь определяющее значение для трофического статуса озера Севан.

Поэтому дальнейшее развитие животноводства необходимо вести параллельно с мероприятиями, полностью блокирующими попадание избыточных питательных веществ в озеро Севан и его притоки.

• *Растениеводство*

Многолетние исследования советских и зарубежных авторов свидетельствуют о том, что постоянное применение минеральных удобрений на сельскохозяйственных угодьях является одной из причин увеличения содержания азота и фосфора в водоемах.

Известно, что 40–60 % минеральных удобрений используется растениями, 20–30 % закрепляется в почве, а оставшаяся часть теряется в газообразной форме [Фальковская и др., 1982].

Закрепленный в почве и не использованный растениями азот частично потребляется микроорганизмами, частично вымывается в грунтовые воды.

Соединения азота отличаются большой подвижностью и легко мигрируют как с поверхностным, так и с подземным стоком. При избытке влаги в почве соединения азота часто достигают уровня грунтовых вод, при умеренной увлажненности восходящими токами в почве они выносятся на ее поверхностный слой [Фальковская, Кутырин, 1977; Назаров, 1985].

Фосфорные удобрения обладают малой миграционной способностью [Коплан-Дикс и др., 1985] и практически не передвигаются от участка внесения их по почвенному профилю [Булаев, Булаева, 1977]. Внесенный с удобрениями в поверхностный слой почвы фосфор образует (до 90 %) малорастворимые соединения с железом, алюминием и кальцием [Горбунов, 1978]. Однако закрепленный в верхних слоях почвы указанным путем фосфор может легко выноситься при смыве поверхностным стоком. Особенно

интенсивно фосфор выносится в весенний период (рис. 29, 30) с зяби, где почва не защищена от смыва растительным покровом, или с оставшейся с осени стерни [Шилькрот, 1975а, б, 1979].

Для обоснования суждения о закономерностях эвтрофирования озера Севан необходимо в первую очередь рассмотреть темпы интенсификации, качественные и количественные стороны использования азотных и фосфорных удобрений, а также их вынос со стоками из почв бассейна озера.

Общая земельная площадь административных районов севанского бассейна равна 405,5 тыс. га, или 13,5 % всей территории республики. На территории водосбора бассейна Севана земельный фонд составляет 360,5 тыс. га и по сравнению с 1940–1960 гг. увеличился на 3,2 %. Из общего земельного фонда водосбора озера 60,4 % составляют сельскохозяйственные угодья, площадь которых по сравнению с 1940–1960 гг. увеличилась в 3,26 раза (табл. 26) и составляет примерно 20 % посевной площади республики [Бабаян, 1980].

Таблица 26. Земельный фонд и сельскохозяйственные угодья, а также процентное отношение величины сельхозугодий к площади земельного фонда административных районов бассейна озера Севан без учета территорий городов и сёл (усредненные значения за 1940–1960 гг. и 1961–1985 гг.) (по данным ЦСУ АрмССР 1986 г.)

Район	Земельный фонд		Сельхозугодия (га) и доля (%) земельного фонда			
	1940–1960	1961–1985	1940–1960	%	1961–1985	%
Севанский	26384*	27038	6146	23	16489	61
Им. Камо	62159	63604	9854	16	43447	68
Мартунинский	112482	118456	23314	21	70103	59
Варденисский	112746	115073	21622	19	66579	58
Красносельский	35643*	36361	5895	17	21017	58
Всего	349414	360541	66831	19	217635	60

* Для административных территорий Севанского и Красносельского районов приводятся те части земельного фонда и сельскохозяйственных угодий, которые входят в пределы водосборного бассейна.

Из общей площади сельскохозяйственных угодий 37,0 % составляет пашня, 1,0 % – многолетние насаждения, 14,0 % – сенокосы и 48 % – луга и пастбища. Аналогичное распределение сельскохозяйственных угодий имеют все административные районы бассейна озера, кроме Варденисского, где пашня составляет 54,0 %, сенокосы – 9,0 %, а пастбища – 36,0 %.

В бассейне озера Севан выращивают различные сельскохозяйственные культуры, в том числе зерновые (рожь, пшеница, ячмень, гречиха и др.), зернобобовые, картофель, овоще-бахчевые, технические (табак), кормовые (кукуруза, корнеплоды, однолетние и многолетние травы) и многолетние насаждения, валовый сбор которых достигает нескольких сотен тысяч центнеров в год.

Видно, что в различных административных районах в настоящее время доля сельскохозяйственных угодий в общем земельном фонде района возросла с 2,6 (Севанский) до 4,25 (им. Камо) раза по сравнению с 1960 г. На водосборе озера в целом площадь сельскохозяйственных угодий возросла в 3,16 раза (табл. 26).

Анализ материалов по использованию минеральных и органических удобрений показывает, что в 1960–1985 гг.[1] в бассейне озера ежегодно применялось от 3000 до 29 000 т минеральных и от 30 000 до 35 000 т органических азотных и примерно столько же фосфорных удобрений (рис. 38, 40; табл. 27, 28).

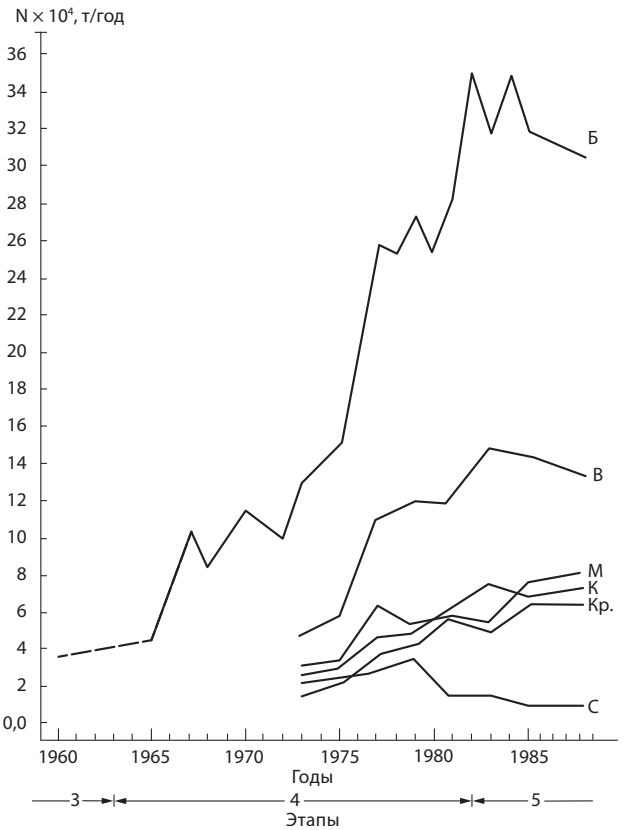


Рис. 38. Количество азотных (минеральных и органических) удобрений, применяемых на водосборе озера Севан и в его отдельных административных районах в период с 1960 по 1985 г. (обозначения см. на рис. 32)

Fig. 38. Amount of nitrogen (mineral and organic) fertilizers used in the water catchment area of Lake Sevan and in some of its administrative districts during the period of 1960–1985 (for legend see Fig. 32)

[1] Для административных территорий Севанского и Красносельского районов приводятся те части земельного фонда и сельскохозяйственных угодий, которые входят в пределы водосборного бассейна.

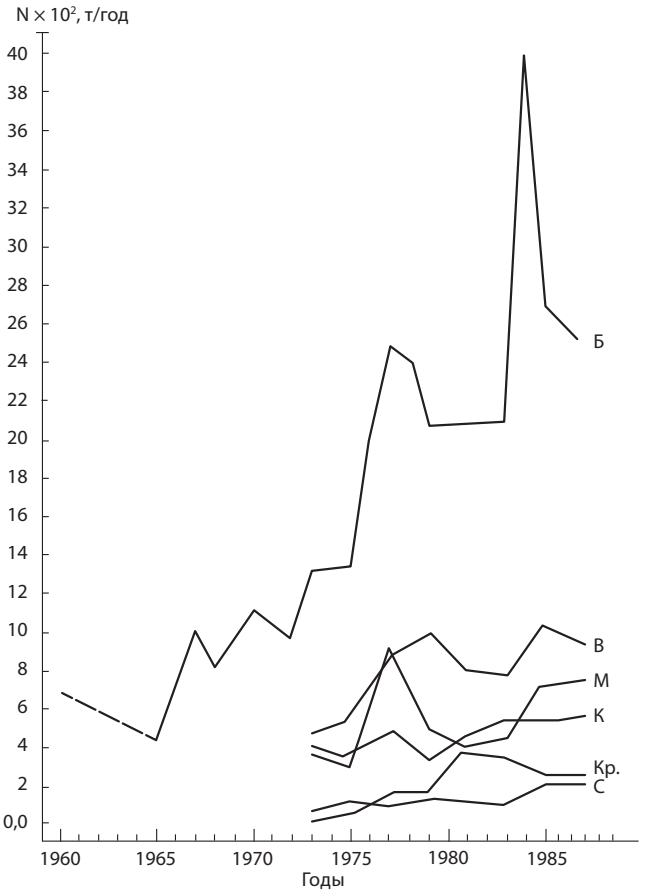


Рис. 39. Количество азота, поступающего в озеро Севан от применяемых азотных удобрений на водосборе озера и в отдельных административных районах в период с 1960 по 1985 г. (обозначения см. на рис. 32)

Fig. 39. Amount of nitrogen inflowing into Lake Sevan due to the used nitrogen fertilizers in the lake water catchment area and in some of its administrative districts during the period of 1960–1985 (for legend see Fig. 32)

В связи с интенсификацией сельского хозяйства и увеличением площадей сельскохозяйственных угодий в бассейне Севана возросло применение минеральных и органических азотных (карбамид и селитра) и фосфорных (суперфосфат) удобрений. Увеличение количества вносимых удобрений началось с 1965 г., на четвертом этапе понижения уровня озера (рис. 38, 40).

Первое скачкообразное увеличение количества используемых азотных удобрений по отношению к 1960 г. зарегистрировано в период 1965–1967 гг. – в 2,8 раза (минерального – в 1,35 и органического – в 3,1 раза), второе в 1973–1977 гг. – в 7,0 раз (в 3,3 и 7,6 раза соответственно) и третье в 1981–1982 гг. – в 9,6 раза (в 2,4 и 10,8 раза соответственно) (рис. 38; табл. 27).

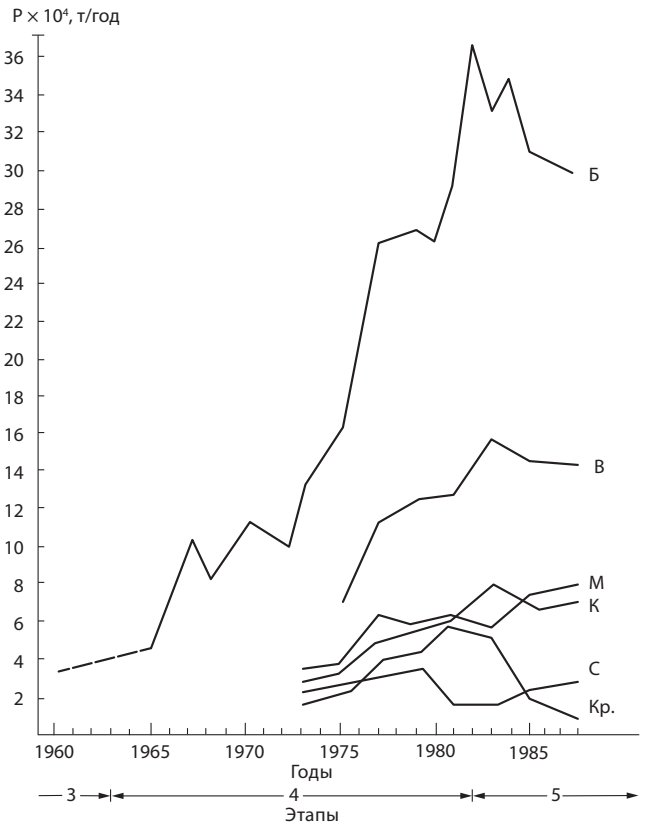


Рис. 40. Количество фосфорных (минеральных и органических) удобрений, применяемых на водосборе озера Севан и в его отдельных административных районах в период с 1960 по 1985 г. (обозначения см. на рис. 32)

Fig. 40. Amount of phosphorus (mineral and organic) fertilizers used in the water catchment area of Lake Sevan and in some of its administrative districts during the period of 1960–1985 (for legend see Fig. 32)

Аналогичная динамика отмечена в отношении использования фосфорных удобрений (рис. 40; табл. 28).

Среди административных районов по использованию минеральных и органических удобрений первое место занимает Варденисский, далее – им. Камо и Мартунинский районы (рис. 38, 40).

Мы рассчитали оценочную величину количества азота и фосфора, поступающих в Севан за счет удобрений:

– *азот*:

$$N_{вынос} = 0{,}3\ (0{,}4\ N_{мин.} + 0{,}005\ N_{орг.}),$$

где 0,3 – коэффициент выноса эвтрофирующих и загрязняющих веществ (хозяйственно-бытовые, промышленные и сельскохозяйственные стоки,

удобрения и ядохимикаты) с водосборного бассейна, учитывающий его характерные особенности (рельефность, величину и расположение водосборных бассейнов рек, осадки и т.д.);

0,4 – коэффициент (усредненный), определяющий количество азота в применяемых минеральных азотных удобрениях. В бассейне озера Севан из азотных минеральных удобрений используют карбамид и аммонийную селитру, где количество азота в общем весе удобрения составляет 46,8 и 35,0 % соответственно. Мы брали среднюю из двух указанных величин – 40,0 %, т.е. коэффициент 0,4;

0,005 – коэффициент количества азота в почвах от внесенных органических удобрений (навоз – 0,5 %), характеризующий остаточное количество азота после усвоения почвенными микроорганизмами и выноса с урожаем сельскохозяйственных культур [Бабаян, 1980]. Коэффициенты 0,005 для азота и 0,02 для фосфора (см. ниже) позволяют не учитывать поступающее в озеро количество азота и фосфора от животноводческих комплексов и пастбищ;

– *фосфор*:

$$P_{вынос} = 0{,}03\ (0{,}2\ P_{мин.} + 0{,}002\ P_{орг.}),$$

где 0,03 (учитывая крайне малую растворимость фосфатов) – коэффициент для фосфора, он берется в 10 раз меньше, чем азота (0,3). Об этом более подробно было сказано выше;

0,2 – коэффициент (усредненный), определяющий количество фосфора в применяемых минеральных фосфорных удобрениях. В бассейне озера Севан из фосфорных минеральных удобрений использовали простой суперфосфат и двойной суперфосфат, где количество фосфора (P_2O_5) в общем весе удобрения составляет 26,0 и 19,5 % соответственно. Мы брали 20 % (коэффициент 0,2) – среднюю из двух указанных величин;

0,002 – коэффициент количества фосфора в почвах от внесенных органических удобрений (навоз – 0,25 %), характеризующий остаточное количество после выноса урожаем сельскохозяйственных культур [Бабаян, 1980].

Таким образом, для бассейна озера Севан и для водосбора аналогичных бассейнов нами предлагается принимать поступление в водоем с поверхностными и подземными стоками 12 % азота и 0,6 % фосфора от количества применяемых в бассейне минеральных удобрений и 0,15 % азота и 0,006 % фосфора от количества применяемых в бассейне органических удобрений.

Полученные нами величины поступления в озеро азота и фосфора, связанного с использованием минеральных и органических удобрений, соответствуют нижним границам аналогичных величин, приведенных другими авторами [Унанянц, 1972; Шилькрот, 1973, 1975а, б; Денисова и др., 1974; Россолимо, 1975, 1977; Грибовская, Каминский, 1982; Расплетина, Гусаков, 1982; Фальковская, 1982; Коплан-Дикс и др., 1985; Vollenweider, 1968, 1975 и др.].

Расчеты по формулам для азота и фосфора (см. с. 108, 109) показывают, что начиная с 1960 г. с общим стоком в озеро Севан ежегодно поступало от 400 до 4000 т азота и от 35 до 200 т фосфора (рис. 39, 41; табл. 27, 28) вследствие внесения минеральных и органических удобрений. В период с 1960 по 1985 г. количество азота и фосфора, поступающего в озеро из-за применения удобрений, возросло более чем в 10 раз.

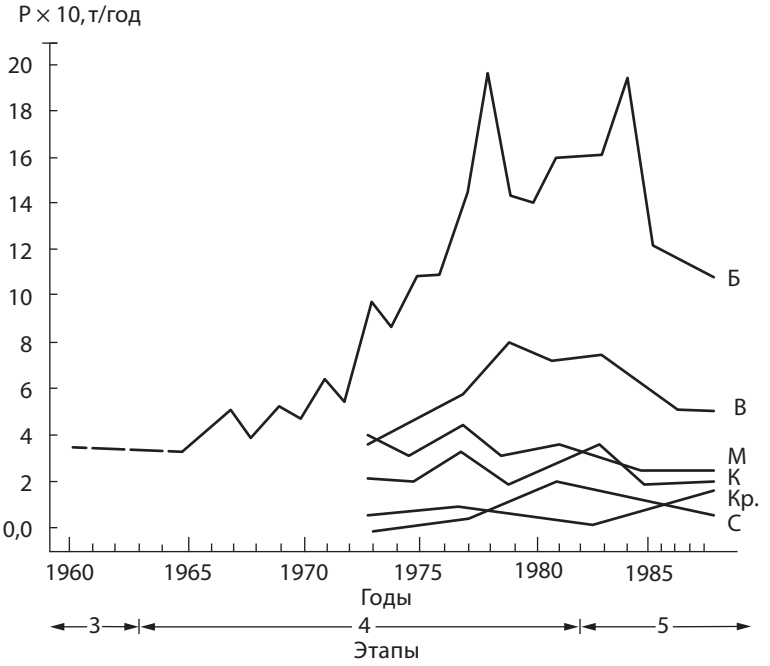


Рис. 41. Количество фосфора, поступающего в Севан в связи с внесением фосфорных удобрений на водосборе в целом и в отдельных административных районах в период с 1960 по 1985 г. (обозначения см. на рис. 32)

Fig. 41. Amount of phosphorus inflowing into Lake Sevan due to the applied phosphorus fertilizers in the lake water catchment area on the whole and in some of its administrative districts during the period of 1960–1985 (for legend see Fig. 32)

В процентном соотношении доля азота и фосфора, поступающих в Севан из-за применения удобрений в бассейне озера, в общем количестве азота и фосфора, поступающих из всех источников, начиная с 1960 г. увеличилась в 1,8–2,0 раза (табл. 30).

Динамика роста количества азота и фосфора, поступающего в озеро Севан (рис. 39, 41), повторяет закономерность использования удобрений в бассейне озера (рис. 38–40) в период с 1960 по 1985 г., о чем было сказано выше. Детальный анализ полученных величин количества азота и фосфора, поступающих в озеро, выявил два хорошо выраженных максимума:

для азота в 1977 г. и 1984 г., а для фосфора в 1978 г. и 1984 г. (рис. 39, 41). Уменьшение поступления азота и фосфора с 1978 по 1984 г. объясняется сокращением количества внесенных минеральных удобрений в отдельных административных районах бассейна в этот период.

Таким образом, в настоящее время вследствие применения удобрений на водосборном бассейне в озеро Севан поступает от 2000 до 4000 т азота и от 100 до 200 т фосфора (рис. 42, 43).

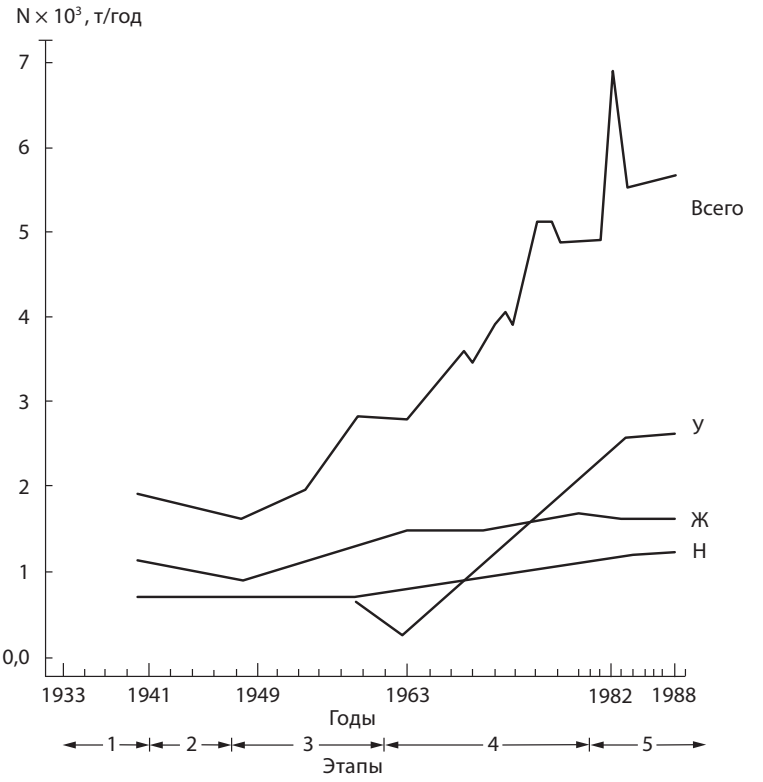


Рис. 42. Поступление азота в озеро Севан из различных антропогенных источников (Н – население, Ж – животноводство, У – удобрения)

Fig. 42. Inflow of nitrogen into Lake Sevan from various anthropogenic sources (Н – population; Ж – cattle-breeding; У – fertilizers)

Понятно, что длительное (1960–1990 гг.) нерациональное использование минеральных удобрений в бассейне озера в количествах, превышающих нормы, не могло не повлиять на экологическое состояние Севана. К сожалению, до сих пор работы по внесению минеральных и органических удобрений в бассейне озера ведутся на низком уровне. Министерством сельского хозяйства Армении с 1975 г. запрещено применение аммиачной селитры как легко смываемого в озеро соединения, но ее использование

в больших дозах продолжается до сих пор. Стало привычным внесение в почву удобрений в количествах, превышающих потребности растений. Так, если по нормам предусмотрено внесение под табак азотных удобрений до 200–250 кг на гектар, то в Варденисском и Красносельском районах их вносят до одной тонны. Ежегодно нарушаются также сроки внесения минеральных удобрений, особенно в Варденисском, Мартунинском и в районе им. Камо, где удобрения вносят на снег, создавая этим наиболее благоприятные условия для их попадания в озеро во время весенних паводков.

К сказанному следует добавить, что влияние рельефа водосбора озера проявляется также в сильной раздробленности и мелкоконтурности земельных участков, не превышающих по площади 3,0 и редко 15,0 га в различных районах, которые разбросаны по бассейнам всех рек. Это обстоятельство в большой степени способствует выносу питательных веществ с поверхностными и грунтовыми водами. В силу данных соображений вероятно, что полученные нами расчетным путем величины выноса азота и фосфора от удобрений несколько занижены. На самом деле они могут оказаться ещё больше, поэтому необходимо обратить особое внимание на культуру и целесообразность использования удобрений (особенно минеральных) в бассейне Севана.

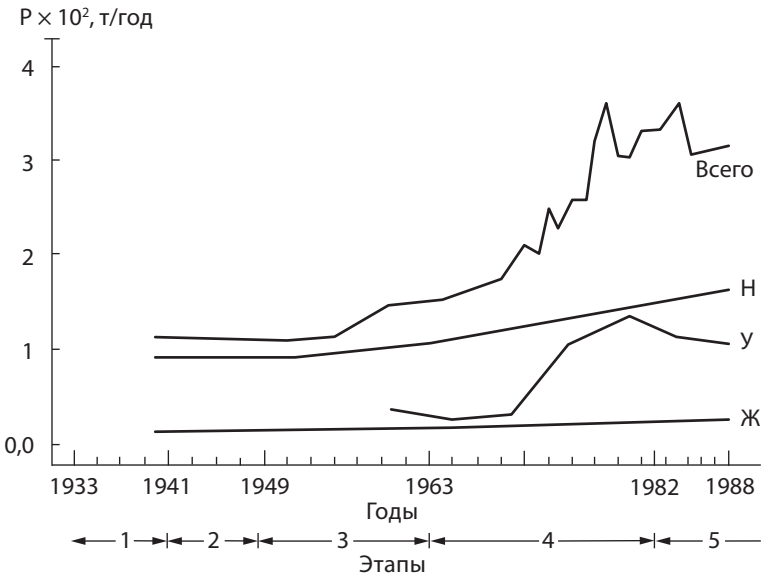


Рис. 43. Поступление фосфора в озеро Севан из различных антропогенных источников (Н – население, Ж – животноводство, У – удобрения)

Fig. 43. Inflow of phosphorus into Lake Sevan from various anthropogenic sources (Н – population; Ж – cattle-breeding; Y – fertilizers)

Для уменьшения количества азота и фосфора, поступающего в озеро с удобрениями, считаем необходимым:

1. Строго контролировать и проводить комплекс мероприятий, включающих пересмотр дозировки удобрений, рациональное сочетание количества и вида вносимых минеральных и органических удобрений, а также сроки их внесения.

2. Принять меры широкого использования бактериальных удобрений [Каминский, 1979, 1980; Грибовская, Каминский, 1982].

3. Внесение удобрений не производить на снег или на поверхность почвы, а захоронять в систему ям или канавок на глубине от 10 до 50 см от поверхности в зависимости от выращиваемой культуры, как это делают в водосборном бассейне озера Балатон (Венгрия). Такая система внесения увеличивает эффективность усвоения удобрений растениями за счет большей доступности для корневой системы. Соответственно этому уменьшается количество используемых удобрений, и самое главное, на 40–60 % снижается вынос биогенных веществ с поверхностными водами.

4. Выше границы водосбор – озеро по всей береговой линии озера нужно создать лесозащитную зону для биологической фильтрации грунтовых и частично поверхностных вод от биогенных элементов.

* * *

Таким образом, в настоящее время (1982–1990 гг.) поступление в озеро Севан азота и фосфора из различных источников (населения, промышленности, животноводства и растениеводства) в среднем составляет 5580 и 330[1] т/год соответственно (табл. 29).

Относительное значение различных источников выражается следующими величинами (в процентах от суммарного поступления соответствующего биогенного элемента). Для азота: от населения и промышленности – 22,0 %; от животноводства – 30,0 %; от растениеводства – 48,0 %. Соответствующие пропорции для фосфора составляют 52,0; 7,0 и 41,0 % (табл. 30).

Соотношения между поступлением биогенных элементов в озеро Севан из различных источников близки аналогичным соотношениям для других озер [Шилькрот, 1975а, б; Россолимо, 1975, 1977; Расплетина, Гусаков, 1982; Грибовская, Каминский, 1982; Фальковская и др., 1982].

От общего количества поступающих в озеро 5500 т азота и 330 т фосфора с речным притоком в озеро поступает 4000 т азота и 180 т фосфора (см. главу 1, табл. 14, 15), остальная часть – 1500 т азота и 150 т фосфора – попадает в озеро с поверхностным рассеянным и подземным стоками (табл. 31).

---

[1] Правильность указанных оценочных величин доказывается также сходством поступающего количества азота и фосфора в период с 1929 по 1940 г. Так, в 1929 г. в озеро поступило 2106 т азота и 133 т фосфора (табл. 29; модельные оценки Р.М. Парпаровой [1985], по данным С.Я. Лятти [1932]), а в 1940 г. (по нашим расчетам) – 1914 т азота и 107 т фосфора (табл. 29). Нужно учесть, что с 1929 по 1940 г. в бассейне Севана особых изменений в экономике не происходило.

Таблица 27. Количество азотных удобрений, применяемых в бассейне озера Севан, и количество азота, поступающего в озеро Севан вследствие применения этих удобрений, в период с 1960 по 1990 г. (Отн. – относительное изменение)

Год	Удобрение, т				Содержание азота		Общий азот	Вынос азота	Отн.
	Всего	Отн.	Мин.	Орг.	Мин.	Орг.			
1960	36935	1,00	5304	31631	2122	158	2280	684	1,00
1965	43336	1,17	2995	40341	1198	202	1400	420	0,6
1966	70372	1,91	4843	65529	1937	328	2265	680	1,0
1967	104267	2,82	7175	97092	2870	485	3355	1007	1,5
1968	83087	2,25	5718	77369	2287	387	2674	802	1,2
1969	103177	2,79	7100	96077	2840	480	3320	996	1,5
1970	116147	3,15	7993	108154	3197	541	3738	1121	1,6
1971	105903	2,87	7288	98615	2915	493	3408	1022	1,5
1972	101180	2,74	6963	94217	2785	471	3256	977	1,4
1973	130078	3,52	9354	120724	3742	604	4346	1303	1,90
1974	142404	3,86	9346	133058	3738	665	4403	1321	1,93
1975	151588	4,10	9185	142403	3674	712	4386	1316	1,92
1976	213914	5,79	14182	199732	5673	999	6672	2002	2,93
1977	258960	7,01	17640	241320	7056	1207	8263	2479	3,62
1978	255283	6,91	16958	238325	6783	1192	7975	2392	3,50
1979	276203	7,48	13953	262330	5581	1312	6893	2068	3,02
1980	253802	6,87	13934	239868	5574	1199	6773	2032	3,00
1981	283068	7,66	13914	269154	5566	1346	6912	2073	3,03
1982	356131	9,64	12907	343224	5163	1716	6879	2064	3,00
1983	319616	8,65	13656	305960	5462	1530	6992	2098	3,07
1984	350299	9,48	29043	321256	11617	1606	13223	3967	5,80
1985	318661	8,63	18409	300252	7364	1501	8866	2660	3,90
1986	381200	10,3	14600	366600	6862	1833	8695	2608	3,8
1987	349900	9,4	18800	331100	8836	1655	10491	3147	4,6
1988	319700	8,7	14200	305500	6674	1529	8203	2461	3,6
1989	244500	6,6	7200	237300	3384	1187	4571	1371	2,0
1990	192100	5,2	2100	190000	987	950	1937	581	0,8

Таблица 28. Количество фосфорных удобрений, применяемых в бассейне озера Севан, и количество фосфора, поступающего в озеро вследствие применения этих удобрений, в период с 1960 по 1990 г. (Отн. – относительное изменение)

Год	Удобрение, т				Содержание фосфора		Общий фосфор	Вынос фосфора	Отн.
	Всего	Отн.	Мин.	Орг.	Мин.	Орг.			
1960	36935	1,00	5304	31631	1060	63	1123	34	1,00
1965	45566	1,23	5225	40341	1045	81	1126	34	1,0
1966	71469	1,94	5940	65529	1188	131	1319	40	1,2
1967	104417	2,83	7325	97092	1465	194	1659	50	1,5
1968	83269	2,26	5900	77369	1180	155	1335	40	1,2
1969	103942	2,81	7865	96077	1573	192	1765	53	1,6
1970	114764	3,11	6610	108154	1322	216	1538	46	1,4
1971	108755	2,95	10140	98615	2028	197	2225	67	2,0
1972	102567	2,78	8350	94217	1670	188	1858	56	1,6
1973	135661	3,67	14936	120725	2987	241	3228	97	2,85
1974	145924	3,95	12866	133058	2573	266	2839	85	2,50
1975	165938	4,49	16534	149404	3307	299	3606	108	3,20
1976	212543	5,73	16311	196232	3262	392	3654	110	3,23
1977	262762	7,11	21390	241372	4278	482	4760	143	4,20
1978	268878	7,28	30553	238325	6111	477	6588	198	5,80
1979	269682	7,30	21008	248674	4202	497	4699	141	4,15
1980	261105	7,07	21236	239869	4247	480	4727	141	4,15
1981	293171	7,94	24016	269155	4803	538	5341	160	4,70
1982	366940	9,94	23716	343224	4743	686	5429	163	4,80
1983	327126	8,86	24167	302959	4833	606	5439	163	4,80
1984	350287	9,48	29041	321246	5808	642	6450	194	5,70
1985	309807	8,39	18002	291805	3600	584	4184	126	3,70
1986	386500	10,4	19900	366600	3980	916	4896	147	4,3
1987	352600	9,5	21500	331100	4300	828	5328	160	4,7
1988	329300	8,9	23800	305500	4760	764	5524	166	4,9
1989	254200	6,7	16900	237300	3380	593	3973	119	3,5
1990	196500	5,3	6500	190000	1300	475	1775	53	1,6

Таблица 29. Поступление азота и фосфора с поверхностным и подземным стоком в озеро Севан от населения, промышленности и сельского хозяйства с водосбора озера в период с 1940 по 1990 г. (Отн. – относительное изменение)

Год	Население и промышленность		Животноводство		Удобрения		Всего			
							азот		фосфор	
	N	P	N	P	N	P	т/г	Отн.	т/г	Отн.
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*
1940	755	94	1139	13			1914	1,00	107	1,00
1950	771	96	900	11			1671	0,87	107	1,00
1951	772	96	912	11			1684	0,87	107	1,00
1952	771	96	972	12			1743	0,90	108	1,00
1953	773	96	1020	12			1793	0,94	108	1,01
1954	774	97	1057	13			1831	0,96	110	1,03
1955	775	97	1142	13			1917	1,00	110	1,03
1956	776	97	1211	14			1987	1,03	111	1,04
1957	779	98	1268	15			2047	1,07	113	1,06
1958	780	98	1250	15			2030	1,06	113	1,06
1959	782	99	1280	15			2062	1,08	114	1,07
1960	785	100	1330	16	684	34	2799	1,46	150	1,40
1961	815	102	1300	16			2115	1,10	118	1,10
1962	826	104	1334	16			2160	1,13	120	1,12
1963	861	108	1363	17			2224	1,16	125	1,16
1964	877	110	1448	18			2325	1,21	128	1,20
1965	907	112	1498	18	420	34	2799	1,46	150	1,40
1966	935	119	1526	18	680	40	3141	1,64	177	1,65
1967	975	121	1522	18	1007	50	3504	1,83	189	1,77

Окончание табл. 29

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*
1968	962	122	1566	19	802	40	3330	1,73	181	1,69
1969	1001	124	1588	19	996	53	3585	1,87	196	1,83
1970	990	124	1514	18	1121	46	3625	1,90	188	1,76
1971	1005	126	1480	18	1022	67	3507	1,83	211	2,00
1972	1027	129	1556	19	977	56	3560	1,85	204	1,90
1973	1046	132	1632	20	1303	97	3981	2,10	249	2,33
1974	1057	132	1656	21	1321	85	4034	2,10	238	2,22
1975	1073	135	1573	19	1316	108	3962	2,07	262	2,44
1976	1087	136	1566	20	2002	110	4655	2,43	266	2,50
1977	1098	138	1606	20	2479	143	5183	2,70	301	2,81
1978	1092	137	1688	22	2392	198	5162	2,70	357	3,33
1979	1130	141	1669	21	2068	141	4867	2,54	303	2,83
1980	1150	144	1703	21	2032	141	4885	2,55	306	2,85
1981	1161	145	1608	20	2073	160	4742	2,47	325	3,03
1982	1177	148	1638	20	2064	163	4879	2,55	331	3,10
1983	1179	148	1697	21	2098	163	4974	2,60	332	3,10
1984	1189	149	1720	21	3967	194	6876	3,60	364	3,40
1985	1257	157	1685	21	2660	126	5602	2,93	304	2,84
1986	1221	153	2218	28,7	2608	147	6047	3,2	329	3,0
1987	1226	153	2108	27,0	3147	160	6481	3,3	340	3,2
1988	1238	153	1849	23,2	2461	166	5548	2,9	342	3,2
1989	1166	146	1770	22,0	1371	119	4307	2,3	287	2,7
1990	1363	170	1609	20,0	581	53	3553	1,9	243	2,3

Таблица 30. Относительное значение источников поступления в озеро азота и фосфора на разных этапах понижения уровня озера Севан*

Этап	Годы	Всего	Население	Животноводство	Удобрения
		Азот (%)			
1-й	до 1940	100/100	40,0/100	60,0/100	0,00/0,00
2-й	1941–1948	100/87,0	46,0/102	54,0/79,0	0,00/0,00
3-й	1949–1962	100/146	28,0/109	48,0/117	24,0/100
4-й	1963–1982	100/255	24,0/156	34,0/144	42,0/301
5-й	1985	100/293	22,0/166	30,0/148	48,0/390
		Фосфор (%)			
1-й	до 1940	100/100	88,0/100	12,0/100	0,00/0,00
2-й	1941–1948	100/101	89,0/102	11,0/85,0	0,00/0,00
3-й	1949–1962	100/145	67,0/106	10,0/123	23,0/100
4-й	1963–1982	100/311	45,0/157	6,00/154	49,0/480
5-й	1985	100/341	52,0/167	7,00/162	41,0/370

* В числителе – доля (%) отдельных источников азота и фосфора в общем количестве биогенных элементов, поступающих в озеро на различных этапах понижения уровня озера. В знаменателе – рост (%) количества азота и фосфора, поступающих в озеро из всех источников на различных этапах понижения уровня озера (за 100 % принимается количество азота и фосфора, поступающих в озеро от населения и животноводства в доспусковой период (1940 г.), а от удобрений – величина после 1960 г. за неимением достоверных данных для более ранних периодов).

Если принять, что 30 % (см. выше) оросительных вод поступает в озеро путем подземного притока (не учитывая остальные естественные подземные притоки), получается, что от общего количества с подземным стоком поступает 480 т азота и 45 т фосфора, а с поверхностным рассеянным – соответственно 1100 т азота и 105 т фосфора (табл. 31). Приведенные величины являются первыми оценками диффузного стока биогенных элементов в озеро Севан с его водосборного бассейна.

Значительный интерес представляет рассмотрение временной динамики поступления биогенных элементов в озеро Севан (рис. 42, 43; табл. 29).

Как показывает статистический анализ рядов динамики, в период с 1940 по 1990 г. происходило экспоненциальное увеличение поступления биогенных элементов в озеро Севан:

$$\ln N = (5{,}67 \pm 0{,}26) + (0{,}035 \pm 0{,}004)\, T;\ r = 0{,}954;\ n = 37;$$
$$\ln P = (2{,}74 \pm 0{,}29) + (0{,}037 \pm 0{,}004)\, T;\ r = 0{,}947;\ n = 37,$$

где N и P – поступление азота и фосфора, т/год; T – календарные годы (последние две цифры года – 40, 50, 51 ... 90).

Как видно из таблицы 30, за 45 лет поступление азота и фосфора в Севан с водосборного бассейна возросло в 2,9–3,4 раза. Это является одним из основных количественных показателей уровня антропогенного воздействия водосборного бассейна на экосистему озера.

Таблица 31. Поступление азота и фосфора в озеро Севан в среднем за 1982–1985 гг.

Пути и источники поступления азота и фосфора в озеро Севан	Азот		Фосфор	
	т/год	%	т/год	%
1. Речной приток	4000	57	180	45
2. Рассеянный приток	1100	16	105	27
3. Подземный приток	480	7	45	11
Всего	**5580**	**80**	**330**	**83**
в том числе:				
– население и промышленность	1200	17	150	38
– животноводство	1680	24	20	5
– минеральные и органические удобрения	2700	39	160	40
4. Атмосферные осадки	1400	20	65	17
Итого	**6980**	**100**	**395**	**100**

Атмосферные осадки

Роль атмосферных осадков как важного источника поступления азота, фосфора и других веществ в водоемы возрастает в связи с прогрессирующим загрязнением атмосферного воздуха. К сожалению, очень мало данных, позволяющих судить о значении этого пути поступления биогенных веществ в развитии антропогенного эвтрофирования озера Севан. Это обстоятельство усубляется еще и тем, что в водном балансе озера атмосферные осадки играют существенную роль (табл. 64).

Определение содержания азота и фосфора в атмосферных осадках проводилось на акватории Малого и Большого Севана и в прибрежных зонах [Парпарова, 1985].

Концентрация общего азота в осадках, выпадающих на акватории озера, в среднем составляет 2,4 мг/л, а минеральных форм азота – 1,4 мг/л. Учитывая, что в период определения содержания азота в 1980–1983 гг.

на акваторию озера выпало 500–600 мм осадков, получается, что с атмосферными осадками в озеро Севан поступило 1410 т/год азота, где 815 т, или 58 %, составляют его минеральные формы [Парпарова, 1985; Оганесян, Парпарова, 1987].

Высокое содержание азота, по-видимому, характерно для атмосферных осадков Закавказья. По данным В.П. Зверева [1981], содержание только нитратного азота здесь составляет 1,0 мг/л. Аналогичная величина содержания азота в осадках определена также в бассейне Ладожского озера [Расплетина, 1982].

Концентрация общего фосфора в атмосферных осадках, выпадающих на акваторию озера Севан, в течение года варьирует в довольно широких пределах (0,05–0,144 мг/л), в среднем составляя 0,113 мг/л, а минерального фосфора 0,04 мг/л. Аналогично азоту рассчитано поступление общего и минерального фосфора с атмосферными осадками в озеро: оно составляет соответственно 65,5 и 23,3 т/год (36 % от общего) [Парпарова, 1985]. Необходимо отметить, что по сравнению с 1960 г. [Варданян и др., 1984] содержание минерального фосфора в атмосферных осадках на водосборе Севана возросло вдвое.

Близкие значения количества фосфора в атмосферных осадках для других регионов СССР, а также для Канады получили П.П. Воронов [1963], А.А. Былинкина, Л.А. Петухова [1971], Г.С. Шилькрот [1973], А.Б. Авакян и др. [1977], Peters [1977], Scheider et al. [1979] и др.

Таким образом, с атмосферными осадками в озеро Севан поступает 1400 т общего азота и 65 т общего фосфора, минеральные формы в которых составляют соответственно 58 и 36 %.

* * *

Для целей настоящего исследования наибольшее значение имеет изменение следующих параметров воды притоков озера: увеличение перманганатной окисляемости с 1,1 до 3,0 мг/л, величины минерализации с 111 до 180 мг/л (см. табл. 11), минерального азота с 0,3 до 2,0 мг/л (все величины даны в сравнении с 1929 г. [Лятти, 1932а]). Необходимо отметить, что за этот период концентрация минерального фосфора в воде притоков изменилась в значительно меньшей степени – с 0,07 до 0,10 мг/л [Оганесян и др., 1985б, в].

По всей вероятности, наибольшее значение для развития эвтрофирования имело увеличение поступления соединений азота в озеро Севан. По результатам непосредственных измерений, поступление минерального азота с речным притоком в озеро Севан возросло с 229 т/год в 1929 г. до 2080 т/год в 1982–1984 гг. [Оганесян и др., 1985б, в] без учета р. Арпа (табл. 15). Данная оценка не учитывает величины рассеянного (диффузного) стока.

Выполненные расчеты, учитывающие практически все значимые компоненты хозяйственной деятельности в водосборном бассейне озера Севан

(с 1940 г.), позволяют детально проследить процесс обогащения речных вод азотом и фосфором, а также сопоставить величины поступления биогенных элементов с речными, диффузными и подземными стоками.

Полученные нами данные (рис. 42, 43; табл. 29, 30) показывают, что в процессе социально-экономического развития севанского региона произошла смена роли отдельных компонентов хозяйственной деятельности как антропогенных источников азота и фосфора. До 1963 г. главным антропогенным источником азота в бассейне озера Севан было животноводство (48 %) (табл. 30). Однако с 1960 г. опережающий рост применения азотных удобрений сделал именно их главным антропогенным источником азота. Основным антропогенным источником фосфора как ранее, так и до сих пор остаются население и промышленность бассейна озера Севан – 52 % (табл. 30).

В настоящее время (1982–1985 гг.) из всех источников в Севан поступает около 7000 т азота и 400 т фосфора. Составляющие приходной части баланса азота и фосфора и их структура по путям попадания в озеро и видам хозяйственной деятельности представлены в таблице 31.

Полученные оценки рассеянного и подземного стока показывают, что этот компонент играет заметную роль в поступлении биогенных элементов в озеро Севан.

Важным компонентом поступления биогенных элементов в озеро с водосборного бассейна являются атмосферные осадки. Сопоставление данных о содержании азота и фосфора в дожде и снеге, выпадающих в бассейне Севана в 1960 г. и 1982–198 гг. [Варданян и др., 1984; Парпарова, 1985], показывает, что концентрация биогенных элементов в атмосферных осадках возросла за этот период более чем вдвое. Это является прямым следствием эмиссии загрязняющих веществ промышленностью Еревана. Доминирующие в течение года западные ветры транспортируют попадающие в атмосферу эвтрофирующие и загрязняющие вещества г. Еревана и прилегающих районов (Абовянский, Разданский и др.) в бассейн озера.

Нами рассчитана также биогенная нагрузка на озеро Севан (см. табл. 32, 33). Общая нагрузка азотом и фосфором по сравнению с 1940 г. в настоящее время (1982–1985 гг.) увеличилась в 4,2 раза (азотом – с 1,35 до 5,62 и фосфором – с 0,076 до 0,32 г/м^2 в год). Только за счет поверхностных и подземных вод нагрузка азотом и фосфором увеличилась в 3,3 и 3,6 раза соответственно (табл. 33).

Рассчитана также биогенная нагрузка на озеро Севан отдельных антропогенных источников (населения, промышленности, животноводства и растениеводства), где первое место занимает нагрузка азотом и фосфором в результате применения удобрений, которая по сравнению с 1960 г. увеличилась в 4,1 и 4,8 раза соответственно (табл. 32).

Значимость описанных изменений в хозяйственной деятельности на водосборном бассейне Севана в развитии эвтрофирования экосистемы озера рассматривается ниже.

Таблица 32. Биогенная нагрузка на озеро Севан, создаваемая отдельными антропогенными источниками, и ее изменение на различных этапах понижения уровня озера (отн. – относительное изменение)

Этап	Год	Население и промышленность				Животноводство				Минеральные и органические удобрения			
		азот		фосфор		азот		фосфор		азот		фосфор	
		г/м^2	отн.	г/м^2	отн.	г/м^2	отн.	г/м^2	отн.	г/м^2	отн.	г/м^2	отн.
1	1940	0,53	1,00	0,07	1,00	0,80	1,00	0,01	1,00	–	–	–	–
2	1950	0,55	1,04	0,07	1,00	0,65	0,80	0,008	0,8	–	–	–	–
3	1960	0,60	1,13	0,08	1,14	1,04	1,30	0,01	1,00	0,53	1,00	0,027	1,00
4	1982	0,95	1,79	0,12	1,70	1,32	1,65	0,016	1,60	1,66	3,13	0,13	4,80
5	1983–1985	0,96	1,80	0,12	1,70	1,35	1,69	0,017	1,70	2,17	4,10	0,13	4,80

Таблица 33. Биогенная нагрузка на озеро Севан, создаваемая отдельными источниками, и ее изменение на различных этапах понижения уровня озера (отн. – относительное изменение)

Этап	Год	Поверхностный и подземный стоки				Атмосферные осадки				Общая нагрузка			
		азот		фосфор		азот		фосфор		азот		фосфор	
		г/м^2	отн.	г/м^2	отн.	г/м^2	отн.	г/м^2	отн.	г/м^2	отн.	г/м^2	отн.
1	1940	1,35	1,00	0,076	1,00	–	–	–	–	1,35	1,00	0,076	1,00
2	1950	1,20	0,90	0,077	1,01	–	–	–	–	1,20	0,90	0,077	1,01
3	1960	2,20	1,63	0,12	1,60	0,55	1,00	0,02	1,00	2,73	2,00	0,14	1,80
4	1982	3,92	2,90	0,27	3,55	–	–	–	–	–	–	–	–
5	1983–1985	4,50	3,33	0,27	3,55	1,13	2,05	0,05	2,60	5,62	4,20	0,32	4,20

Загрязнение озера Севан токсическими веществами

Негативным следствием развития промышленности и сельского хозяйства в севанском бассейне явилось резкое увеличение поступления в озеро загрязняющих веществ – пестицидов и тяжелых металлов.

Известно, что токсические вещества нарушают естественный ход экологических процессов за счет изменения физико-химических свойств воды, влияя на сукцессию сообществ гидробионтов и дестабилизируя процессы самоочищения (рис. 31) [Телитченко, 1971; Телитченко М.М., Телитченко Л.А., 1972; Брагинский, 1972; Брагинский и др., 1979; Врочинский, Маковский, 1979; Каминский, 1982; Оганесян и др., 1986, 1988].

Нарушение биогеохимического равновесия привело к полной дестабилизации автотрофного звена трофической сети экосистемы Севана. Произошла сукцессия планктонных и бентосных сообществ: виды, характерные для эвтрофного уровня, постепенно стали доминировать над видами, характерными для олиготрофного уровня озера. Уменьшились биомасса и численность видов, являющихся кормовой базой для эндемичных (форель, храмуля) и акклиматизированных (сиг) рыб озера Севан.

Качество севанской воды ухудшилось, озеро стало относиться к загрязненному типу озер и из форелевого водоема стало сиговым [Решетников, 1980]. Численность форели до сих продолжает убывать, а с 1976 г. началось ухудшение всех биологических показателей сиговых рыб (рост, размножение, упитанность, жирность и т.д.).

Впоследствии, с 1979 г., увеличилась естественная смертность сигов, которая прогрессировала и в 1984 г. стала массовой (рис. 45). Погибали в основном голодавшие после нерестового периода самки.

Анализируя совокупность гидроэкологических и ихтиологических параметров, мы пришли к выводу, что гибель сигов в озере Севан отличается от аналогичных явлений в других водоемах мира и может быть обусловлена двумя причинами:

1) экологической – недостаток корма, когда голодавшая рыба после нереста для добывания пищи затрачивала больше энергии, чем получала от пищевой единицы;

2) токсико-патологической – на фоне сильного истощения организм рыб более подвержен воздействию различных токсических веществ (пестициды, тяжелые металлы и т.д.), которые накапливаются в органах и тканях рыб в процессе онтогенеза.

Для уточнения этого предположения начиная с 1980 г. нами проводятся детальные исследования по следующим направлениям:

– инвентаризация и анализ источников поступления токсических веществ (пестицидов и тяжелых металлов) в озеро и в его притоки от населения, сельского хозяйства, животноводства и промышленности;

– гидроэкологическая миграция пестицидов и тяжелых металлов и величина их накопления в отдельных звеньях трофической сети;

– качественный и количественный анализ содержания пестицидов, а также макро- и микроэлементов (в основном тяжелых металлов) – железа, меди, цинка, марганца, никеля, кобальта, кадмия и др. – в различных органах и тканях севанского сига, подробное описание которого приводится ниже.

Загрязнение пестицидами

Применение химических средств защиты растений в борьбе с сорняками и сельскохозяйственными вредителями – гербицидов, инсектицидов, фунгицидов и других биологически активных препаратов, объединенных общим названием пестициды, – в бассейне озера Севан пока является наиболее эффективным для повышения урожайности местных сельскохозяйственных культур.

Пестициды, даже в следовых количествах, представляют опасность для биоценозов в целом, масштабы которой для Севана в настоящее время еще не определены и трудно предсказуемы. В результате загрязнения озера пестицидами возникает угроза для восстановления качества его воды, а также сохранения и воспроизводства рыбных ресурсов, так как кроме прямого влияния происходит накопление пестицидов по всей трофической сети экосистемы (рис. 31).

Количество пестицидов, применяемых в бассейне озера Севан (табл. 34) и в его отдельных районах (рис. 44; табл. 39–43), а также их качественный состав (табл. 38) за 1977, 1980–1986 гг. приводятся по данным республиканского производственно-научного объединения «Армсельхозхимия».

Таблица 34. Количество ядохимикатов (т), использованное в бассейне озера Севан за 1977, 1980–1986 гг. и планируемое к 2000 г.

Административный район	Годы								
	1977	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	2000
Севанский	4,2	4,5	6,0	6,8	7,0	7,0	4,8	6,0	10,0
Им. Камо	5,8	6,5	10,0	12,2	12,3	12,3	9,0	9,5	17,0
Мартунинский	25,0	37,0	52,0	39,0	36,5	25,0	16,0	24,0	60,0
Варденисский	20,0	22,0	30,0	30,0	21,0	16,0	14,0	8,0	30,0
Красносельский	17,0	31,0	23,5	25,0	21,0	14,2	21,0	21,2	23,0
Бассейн озера Севан	72,0	101,0	121,5	113,0	97,8	81,3	58,0	69,0	140,0

В период 1980–1986 гг. в бассейне Севана использовано 34 наименования различных ядохимикатов в общем количестве 641,6 т. Основными из них являются: препарат № 30 – 20,6 %; 2-4-Д-аминная соль – 18,5 %; цинеб – 11 %; ТМТД – 10 %; прометрин – 9,4 % и хлорофос – 7,3 %, на остальные 28 ядохимикатов приходится 23,2 % от общего количества применяемых пестицидов (табл. 38).

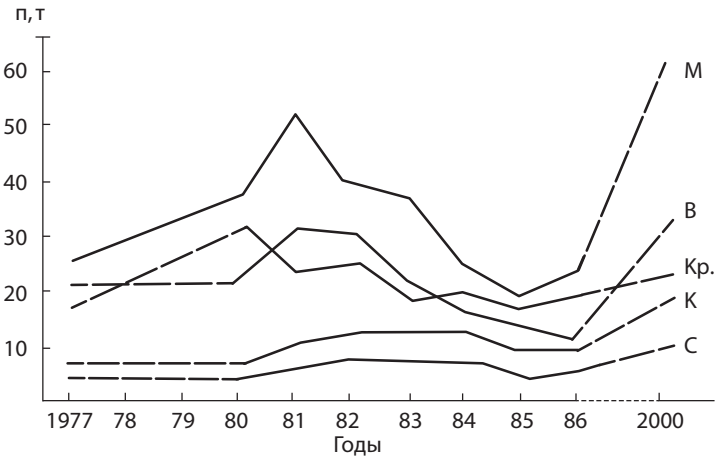


Рис. 44. Количество использованных и планируемых к 2000 г. пестицидов (п) в Севанском (С), им. Камо (К), Мартунинском (М), Варденисском (В) и Красносельском (Кр.) районах севанского бассейна

Fig. 44. Amount of applied and planned by 2000 pesticides (п) in Sevan (C), the Kamo (K), Martuni (M), Vardenis (B), and Krasnosel'sk (Kp.) districts of Lake Sevan Basin

В настоящее время применение хлорорганических соединений (ХОС) в сельском хозяйстве запрещено, однако до сих пор в некоторых районах для обработки полей используется гексахлоран (ГХЦГ). В период с 1980 по 1986 г. израсходовано 12,5 т гексахлорана, который вместе с остатками дихлордифенилтрихлорметилметана (ДДТ) не может не оказывать отрицательного воздействия на экосистему озера (табл. 38). ХОС высокотоксичны, резистентны и обладают высокой способностью накапливаться в различных органах гидробионтов и передаваться по трофической цепи.

В севанском бассейне наиболее широко применяются фосфорорганические пестициды (ФОС), такие как дурсбан, метафос, фозалон, хлорофос и др. (табл. 38–43). ФОС обладают довольно высокой токсичностью. Среди ФОС есть соединения, которые быстро разлагаются в окружающей среде, образуя простейшие вещества [Врочинский, Маковский, 1979].

Из производных карбаминовых кислот применяются пестициды купрозан, ТМТД, цинеб, дурсбан и др. Для этой группы характерна средняя и малая токсичность; нередко они имеют выраженные кумулятивные свойства и среднюю стабильность в окружающей среде. Однако в процессе метаболизма могут образовывать более токсичные вещества, чем исходные формы, – сероуглерод, сероводород и др. [Врочинский, Маковский, 1979]. Пестициды этой группы в законодательном порядке запрещены к применению в водосборных бассейнах рыбохозяйственных водоемов. Несмотря на это в бассейне Севана за период 1980–1986 гг. использовались ТМТД 64,0 т и цинеб 70,2 т (табл. 34–43), которые составляют соответственно 10 и 11 % от общего количества использованных пестицидов.

Из гетероциклических соединений в бассейне озера за указанный период были использованы прометрин (60,4 т), пиранин (1,1 т), симазин (0,7 т) и др. (табл. 38–43). Они обладают слабокумулятивными свойствами, малотоксичны и высокостабильны в воде [Врочинский, Маковский, 1979].

Из углеводов, альдегидов и их производных применяются витовакс, метальдегид и формалин (табл. 38–43). Они характеризуются слабой токсичностью и слабо выраженной кумуляцией [Врочинский, Маковский, 1979].

Группа карбоновых кислот и их производных представлена ядохимикатом 2-4-Д-аминной солью, расход которой за 1980–1986 гг. составил 118,6 т (18,5 % от общего количества) (табл. 38–43). Это среднетоксичное соединение с выраженными кумулятивными свойствами, но самое главное, что оно малостабильно в водной среде.

Среди применяемых в бассейне Севана пестицидов наибольшую опасность представляют металлосодержащие, такие как медный купорос, фосфид цинка, граназан, этилмеркурхлорид (ЭМХ). Они характеризуются высокой степенью токсичности и наличием кумулятивных свойств. Токсофорные элементы: медь, цинк и ртуть, – определяющие биологическую активность пестицидов данной группы, несомненно, в равной мере опасны для всех видов животных и растений, обитающих как в воде, так и на суше, поскольку указанные пестициды обладают повышенной стойкостью [Врочинский, Маковский, 1979]. За период с 1980 по 1986 г. в бассейне озера было использовано 22,2 т металлосодержащих пестицидов (табл. 38–43).

Из фторсодержащих пестицидов (глифтор, который применяют в виде аэроопрыскивания) в водные объекты может попасть $^{1}/_{3}$ используемого количества, то есть за 5 лет примерно 1,8 т (табл. 38–43).

За исследуемый период в бассейне озера Севан были применены в больших количествах биологические препараты защиты растений – такие антибиотики, как бактероденцид, битоксибациллин и дендробациллин (26,3 т) (табл. 38–43). Указанные препараты хорошо растворяются в воде, поэтому коэффициент выноса в системе «водосборный бассейн – озеро» у них довольно большой.

Таким образом, в бассейне Севана в 1977 г. и с 1980 по 1986 г. было использовано почти 714,0 т ядохимикатов, из которых 415,0 т (58,1 %) в Мартунинском и Варденисском районах (табл. 35). Наибольшее количество использованных за последние годы ядохимикатов приходится на 1981 г. Минимальное количество применялось в 1985 г.; однако в 1986 г. их количество несколько увеличилось (рис. 44, 45; табл. 34).

Анализ имеющихся материалов (табл. 34, 38–43) показывает, что в бассейне озера нет жесткой регламентации применения отдельных пестицидов. На территории водосбора применяются такие пестициды, как ТМТД, дурсбан, хлорофос, гексахлоран, которые запрещены в законодательном

порядке к применению в районах водосбора рыбохозяйственных водоемов. Только последние два года (с 1985 г.) в бассейне не используется ртутьсодержащий препарат граназан. Во всех районах земельные угодья часто обрабатываются запрещенными к применению в бассейне Севана пестицидами.

Таблица 35. Количество и процентное соотношение ядохимикатов, использованных в отдельных административных районах бассейна озера Севан в период 1977 и 1980–1986 гг.

Административные районы	Количество, т	Доля (%) от общего количества
Севанский	47,0	6,6
Им. Камо	78,0	11,0
Мартунинский	254,0	35,6
Варденисский	161,0	22,5
Красносельский	174,0	24,3
Бассейн озера Севан	714,0	100,0

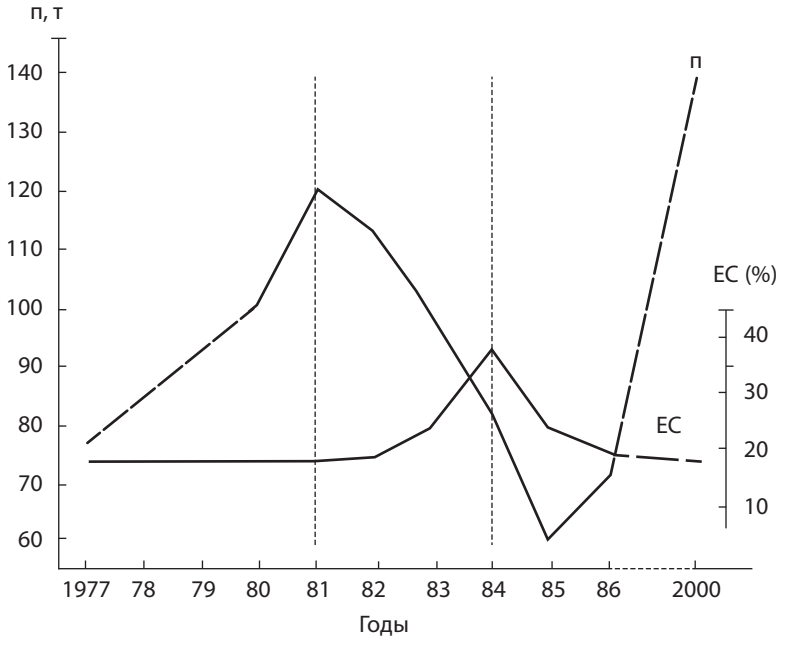


Рис. 45. Количество использованных и планируемых к 2000 г. пестицидов (п) в севанском бассейне и величина (%) естественной смертности (ЕС) сига в озере Севан

Fig. 45. Amount of applied and planned by 2000 pesticides (п) in Lake Sevan Basin and the value (%) of natural mortality (EC) of white-fish in Lake Sevan

Результаты исследований, проведенных в 1980 г. Гидрохимическим институтом Госкомгидромета СССР, показывают, что из ядохимикатов ДДТ, ДДЕ, ГХЦГ и ЭМХ (табл. 36) наиболее распространенными в водах озера являются ДДТ и ДДЕ, максимальные концентрации которых (до 40–60 нг/л) наблюдаются в прибрежной зоне Мартунинского района. В восточной части озера обнаружено больше всего ГХЦГ (70–200 нг/л). ЭМХ четко выявляется в значительной части Большого Севана, в южной части Малого Севана и двух его бухтах – Лчашенской и Цовагюхской (100–200 нг/л). В донных отложениях Большого Севана их концентрация от 3 до 30 раз больше, чем в Малом. Средние концентрации отдельных пестицидов в донных отложениях Малого и Большого Севана соответственно равны: ДДТ – 7 и 27; ДДЕ – 7 и 200; ГХЦГ – 900 и 3000 нг/л.

Средневзвешенная концентрация указанных ядохимикатов в водной толще Малого Севана составляет 528,3; Большого Севана – 792,0 и озера в целом – 660 нг/л (табл. 36).

Таблица 36. Средние концентрации (нг/л) ядохимикатов на различных глубинах Малого и Большого Севана в 1980 г. (ГХИ Госкомгидромета СССР)

Глубина, м	Малый Севан				Большой Севан			
	ДДТ	ДДЕ	ГХЦГ	ЭМХ	ДДТ	ДДЕ	ГХЦГ	ЭМХ
0,5	3,00	1,00	15,0	166	9,00	1,00	23,0	145
2–5	2,00	0,00	25,0	102	6,00	1,00	120	100
8–10	16,0	2,00	18,0	220	2,00	2,00	140	200
10–20	8,00	0,00	180	1300	3,00	4,00	5000	1350
20–30	–	–	–	–	30,0	200	2000	6500
30–60	5,00	2,00	1600	6900	–	–	–	–

Поскольку отказ от применения весьма эффективных для повышения урожайности пестицидов в ближайшее время невозможен, попробуем оценить потенциальную способность выноса в озеро отдельных групп пестицидов. Известно [Врочинский, Маковский, 1979], что от 20 до 50 % хлорорганических пестицидов (ДДТ, ДДЕ, ГХЦГ и др.) остается в пахотном слое. В связи с этим в озере Севан, по всей видимости, происходит многолетний (их применение в бассейне производят с шестидесятых годов) остаточный вынос указанных пестицидов через лимносистему с последующим включением в биологический круговорот и частичное выведение из озера со стоком Раздана и последним звеном экосистемы – промысловыми рыбами. Угроза трофической циркуляции остатков хлорорганических пестицидов и их метаболитов в озере в настоящее время не исключается.

Если принять, что 30 % [Врочинский, Маковский, 1979] общего количества ядохимикатов остается в почве и 30 % этого количества выносится

поверхностными и подземными водами, то получается, что ежегодно в водоем поступает 9 % общего количества всех пестицидов, использованных в севанском бассейне. Суммарный вынос всех видов пестицидов с неорошаемых и орошаемых земель с поверхностными и подземными водами для других водоемов составляет от 1 до 30 % в зависимости от типа и времени использования препарата [Орлова, Ярошенко, 1973; Врочинский, Маковский, 1979; Грибовская, Каминский, 1982 и др.].

Предпосевная весенняя обработка полей ядохимикатами и их распыление с самолета, которое практикуется в бассейне озера, увеличивает долю попадания пестицидов в водоем от 30 до 60 % [Ласкорин и др., 1975; Врочинский, Маковский, 1979].

Учитывая сказанное, предлагаемая нами оценочная величина (9 %) доли ядохимикатов, поступающих в Севан, от их суммарного количества, применяемого на водосборе, вполне реальна, если не занижена. Например, по данным Гидрохимического института ГосКГМ (табл. 36), средневзвешенная концентрация ядохимикатов в озере Севан в 1980 г. составляла 660,0 нг/л при объеме вод озера 33,8 км^3. Получается, что в 1980 г. в воде озера Севан было 22,3 т ядохимикатов. По нашим данным, с 1977 по 1980 г. (табл. 34) в бассейне озера Севан было использовано 300 т ядохимикатов, 9 % которых составляет 27,0 т – величина, очень близкая к расчетной (23,0 т).

При уровне использования ядохимикатов в севанском бассейне (60–120 т) за последнее десятилетие (1977–1986 гг.) получается, что ежегодно в озеро поступало от 5 до 10 т ядохимикатов, которые постепенно накапливаются в озере. Если в настоящее время концентрация пестицидов в севанской воде ниже, чем в некоторых других водоемах (см. табл. 36, 37), то в ближайшие 10 лет их концентрация достигнет угрожающих величин, особенно с учетом стабильности в водной среде (три года и больше) и кумуляции – способности накапливаться в гидробионтах до 10^5 и больше при концентрациях в воде в пределах нанограммов.

Аккумуляция пестицидов в органах и тканях гидробионтов, передача и накопление в трофической сети приводят к тому, что в первую очередь погибают представители более высокоорганизованных видов. При этом возможны два пути: постепенное вымирание популяции, сопровождаемое различными заболеваниями, – либо массовая гибель типа замора, обусловленная накоплением критических концентраций пестицидов [Брагинский, 1972; Брагинский и др., 1979; Маляревская, 1979; Каминский, 1982 и др.].

В 1984 г. массовая гибель сиговых рыб озера Севан по указанным причинам не подтвердилась. Было проведено определение хлорорганических пестицидов (типа ДДТ и его метаболитов – ДДЭ, ДДД; гексахлорциклогексана (ГХЦГ) и его изомеров α и β – ПХБ, ГХЦГ, ЭМХ) в различных органах и тканях сигов озера Севан институтами: почвоведения и фотосинтеза АН СССР (г. Пущино), гидробиологии АН УССР (г. Киев), гидрохимии (ГХИ) Госкомгидромета СССР (г. Ростов-на-Дону), экспериментальной

метеорологии Госкомгидромета СССР и АзНИИРХом – методом газожидкостной хроматографии с детектором по захвату электронов [Методы определения вредных веществ ... 1981].

В исследованных пробах органов и тканей сигов (мозг, жабры, печень и почки, мышцы и гонады) обнаружены остатки концентраций хлорорганических пестицидов (ХОП) – ДДТ, ДДЕ, ДДД, гексахлорциклогексана и его изомеров α и β. Суммарное содержание остатков ДДТ, включая метаболиты, составляло от 0,004 до 0,4 мг/кг, ГХЦГ – от 0,00 до 0,085 мг/кг сырого веса органов. Наибольшие концентрации ДДТ обнаружены в мышцах живых сигов и в печени погибших рыб (в основном за счет метаболита ДДЕ – до 80 %).

В заключительных актах всех указанных организаций, определявших концентрации ядохимикатов в различных тканях и органах погибших рыб, отмечается, что выявленные концентрации отражают неявысокий уровень ХОП и не могут рассматриваться как фактор гибели сигов.

Попытаемся гипотетически объяснить, почему увеличилась естественная смертность сигов озера Севан в период с 1982 по 1985 г.

На рисунке 45 видно, что динамику поступления в озеро ядохимикатов в период с 1980 по 1982 г. со сдвигом в три года повторяет динамика естественной смертности сигов.

В 1980–1982 гг. в бассейне озера было использовано соответственно 101, 121,5 и 113 т ядохимикатов (табл. 34; рис. 44, 45). Из этого количества в водоем поступило 9, 11 и 10 т пестицидов, что составляет почти половину накопленных в озере запасов (20–25 т, по данным ГХИ).

Возможно, что в организме молоди сиговых, у которых обменные процессы идут интенсивнее, чем у половозрелых рыб, в те годы произошло большее накопление пестицидов, чем у молоди сигов предыдущих лет, вследствие быстрого увеличения концентрации ядохимикатов в прибрежных водах озера (залповые выбросы 1980–1982 гг.), к которому добавилось накопление в процессе роста в последующие годы.

Через три года, уже в половозрелом возрасте (мальки 1980–1982 гг.), в процессе преднерестового голодания и в период нереста в результате мобилизации жировых депо организма рыб, где накапливается большое количество пестицидов, в кровь поступали ранее депонированные ХОС [Брагинский, 1972; Брагинский и др., 1979; Маляревская, 1979 и др.], которые привели к необратимости токсического отравления организмов.

По всей вероятности, отсутствие у сигов возможности восстанавливать свои энергетические ресурсы, затраченные в процессе нереста, вследствие экологического голодания, с одной стороны, и указанного токсического действия – с другой, приводили к функциональной дистрофии организма рыб и, в сочетании с такими факторами среды, как повышение температуры воды, pH, снижение концентрации кислорода и т.д., усугубляющими патологическое состояние рыб [Алабастер, Ллойд, 1984], – к их гибели.

Таблица 37. Содержание хлорорганических пестицидов в водоемах [Мельников и др., 1977]

Страна	Год исслед.	Число проб	Водные объекты	Содержание пестицидов, мкг/л					
				ГХЦГ		ДДТ		дельдрин	
				макс.	сред.	макс.	сред.	макс.	сред.
Англия	1969	76	реки	118,0	25,82	–	–	423,0	25,16
ФРГ	1970	51	реки	1700	138,2	300,0	18,9	165,0	3,2
США	1966	10	р. Миссисипи	120,0	28,0	720,9	112,0	60,0	10,0
	1966	82	реки в штате Калифорния	0,2	0,01	22,0	0,6	–	–
	1969	20	реки на западе США	20,0	0,5	180,0	9,3	70,0	1,1
	1971	10	реки в штате Флорида	–	–	40,0	26,4	–	–
	1971	12	оз. Мичиган	–	–	160,0	111,0	–	–
Канада	1971	4	оз. Онтарио	–	–	397,0	64,0	–	–

Такое объяснение увеличения естественной смертности севанского сига подтверждается тем, что у всех погибших рыб (гибель сигов всегда наблюдалась в летний период) не было обнаружено следов накопления жира. Понятно, что при достаточном количестве корма у рыб восстановилось бы накопление жиров, интенсивный синтез которых в посленерестовый период повторно депонировал бы пестициды. Об этом свидетельствует также почти равномерное распределение пестицидов и их невысокая концентрация во всех органах и тканях рыб.

Таким образом, мы считаем возможным, что первичная причина увеличения естественной смертности сигов озера Севан, наблюдаемой в период с 1983 по 1985 г., – экологическая, а вторичная – токсико-патологическая (см. начало настоящего раздела).

Не исключена возможность того, что в период 1987–1989 гг. могло наблюдаться падение численности сигов за счет неполноценности половых продуктов и увеличения естественного отхода гамет поколения половозрелых сигов 1983–1985 гг. из-за их токсического отравления в 1980–1982 гг., поскольку известно, что пестициды, помимо прочего, обладают высокой мутагенной активностью.

Значение химической защиты растений, ее эффективность не вызывают сомнений. Однако нельзя руководствоваться только обеспечением высокой экономической эффективности, так как в настоящее время предотвращение отрицательных последствий, сохранение чистоты водоемов приобретают особое значение.

Нужно учесть, что использование различных приемов дальнейшего совершенствования применения пестицидов (метод наземного опрыскивания растений, запрещение обработки близлежащих от озера полей и т.д.) вовсе не исключает их реальную опасность для качества вод и экосистемы Севана. Поэтому необходимы следующие мероприятия:

1. Безотлагательно повышать культуру применения химических средств защиты растений; точно соблюдать нормы расхода и время обработки посевов, правильно выбирать форму и методы внесения препаратов, исключающие возможность их рассеивания.

2. Развивать систему защитных и водоохранных мероприятий и методов обезвреживания остатков пестицидов в почве и в воде.

3. Используя мировые достижения, вести исследования для перехода от химических к биологическим методам борьбы с сельскохозяйственными вредителями в условиях бассейна озера Севан.

4. Проводить детальные и систематические исследования с целью дальнейшего количественного и качественного контроля содержания ядохимикатов в воде и в гидробионтах озера Севан и его притоках по принципу гидроэкологического мониторинга.

Недостаточное внимание к этому серьезному для экосистемы Севана вопросу может привести к тому, что концентрация пестицидов в озере достигнет таких величин, при которых будет угнетена самоочистительная способность вод озера, возникнет угроза подрыва кормовой базы ихтиофауны и как следствие – рыбопродуктивности.

Таблица 38. Количество и состав ядохимикатов, использованных в бассейне озера Севан в 1980–1986 гг.

Наименование	Кол-во, т
2-4-Д-аминная соль	118,6
Бактероденцид	0,04
Битоксибациллин	2,60
БИ-58	11,4
Витавакс	0,80
Волантон	8,58
Вофатокс	2,15
Гексахлоран	12,5
Глифтор	5,40
Гронозан	5,80
Дендробациллин	23,6
ДНОК	5,76
Дурсбан	7,50
Коратан	0,05
Купрозан	4,10
Медный купорос	15,6
Метальдегид	0,25
Метафос	5,21
Пиранин	1,10
Препарат № 30	132,0
Прометрин	60,4
Ридамил	1,25
Сера	0,60
Симазин	0,70
ТМТД	64,0
Трихлороль	0,90
Тур	0,20
Феназон	1,00
Фозалон	7,71
Формалин	22,1
Фосфид цинка	0,80
Фундазол	0,1
Хлорофос	46,6
Цинеб	70,2
Всего	**641,6**

Таблица 39. Количество (т) и состав ядохимикатов, использованных в Севанском районе в 1980–1986 гг.

Наименование	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
БИ-58	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,8	0,2
Глифтор	–	–	–	0,6	0,6	–	0,2
Гранозан	–	–	–	0,1	0,1	–	–
2-4-Д-аминная соль	1,0	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5	0,8
ДНОК	–	0,6	0,4	0,4	0,4	–	0,2
Коратан (крататан)	–	–	–	–	–	–	0,05
Метафос	0,1	–	–	–	–	0,1	0,05
Пирамин	–	–	–	0,4	0,4	–	–
Препарат № 30	0,8	–	0,8	1,0	1,0	0,5	0,3
Прометрин	0,8	0,5	0,8	–	–	–	0,7
ТМТД	1,6	1,6	2,0	1,3	1,3	1,6	1,5
Феназон	–	–	0,8	–	–	–	0,2
Фозалон	–	–	–	0,2	0,2	–	0,1
Хлорофос	0,1	1,5	0,2	1,5	1,5	1,3	2,0

Таблица 40. Количество (т) и состав ядохимикатов, использованных в районе им. Камо в 1980–1986 гг.

Наименование	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
БИ-58	0,04	–	0,05	0,05	–	–	–
Витавакс	–	–	–	–	0,3	–	–
Глифтор	–	0,3	0,05	0,05	0,2	0,2	0,3
1-4-Д-аминная соль	2,0	3,6	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0
Дендробациллин	–	–	–	–	0,02	0,5	0,5
ДНОК	–	–	0,7	0,8	0,5	0,4	0,4
Дурсбан	–	–	–	–	–	–	0,6
Медный купорос	0,1	–	–	–	–	–	–
Метафос	–	–	–	–	0,1	–	0,1
Препарат № 30	–	0,7	3,0	3,0	0,7	0,8	0,8
Прометрин	1,0	3,0	3,0	3,0	3,0	–	3,0
Ридамил	–	–	–	0,55	–	–	–
ТМТД	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,3	–
Фозалон	0,06	–	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Формалин	–	0,3	0,15	0,15	0,03	–	–
Хлорофос	0,8	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	0,6
Цинеб	0,5	–	0,05	0,05	–	–	–
Всего	**6,50**	**10,0**	**12,2**	**12,3**	**12,3**	**9,00**	**9,50**

Таблица 41. Количество (т) и состав ядохимикатов, использованных в Мартунинском районе в 1980–1986 гг.

Наименование	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
БИ-58	–	0,7	0,65	0,7	0,7	0,5	0,2
Бактероденцид	0,04	–	–	–	–	–	–
Вофатокс	–	0,4	0,6	–	–	–	–
Витавакс	–	0,4	–	–	–	–	–
Волатон	–	–	–	–	–	–	0,5
2-4-Д-аминная соль	1,5	3,3	3,8	1,2	1,0	0,6	–
Гранозан	1,5	–	–	–	–	–	–
Глифтор	0,06	0,6	0,6	0,4	–	0,5	0,5
Дендробациллин	2,8	6,3	4,0	3,2	1,7	1,0	2,5
Медный купорос	3,5	0,6	1,6	3,0	0,1	2,2	–
Метафос	0,3	–	0,4	0,4	0,3	–	0,3
Метальдегид	–	–	–	0,1	–	–	–
Прометрин	1,0	2,4	3,2	4,0	4,5	–	3,5
Препарат № 30	10,1	19,0	16,3	12,5	12,0	5,2	12,5
ТМТД	1,8	5,3	1,8	4,0	–	3,0	–
Фозалон	0,4	1,3	0,7	1,0	0,7	0,5	0,5
Формалин	4,2	6,0	1,45	1,00	2,0	–	–
Хлорофос	6,0	2,7	1,65	2,0	2,0	1,0	1,5
Цинеб	3,8	3,0	2,25	3,0	–	1,5	2,0
Всего	**37,0**	**52,0**	**39,0**	**36,5**	**25,0**	**16,0**	**24,0**

Таблица 42. Количество (т) и состав ядохимикатов, использованных в Варденисском районе в 1980–1986 гг.

Наименование	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
БИ-58	–	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
Вофатокс	–	0,8	0,2	0,05	–	–	–
Витавакс	–	–	–	–	0,1	–	–
Глифтор	–	0,3	0,5	–	0,1	0,1	–
2-4-Д-аминная соль	8,5	9,4	8,5	6,5	6,0	4,5	3,0
Дендробациллин	–	–	0,5	0,3	0,1	0,2	–
ДНОК	–	–	0,5	–	–	0,2	0,2
Купрозан	–	–	0,5	0,1	0,2	–	0,3
Медный купорос	0,7	1,4	0,7	0,5	–	0,4	0,2
Метафос	0,5	–	–	–	–	0,4	0,2
Пирамин	0,3	–	–	–	–	–	–
Препарат № 30	8,0	6,0	8,5	4,5	2,8	–	0,5

Окончание табл. 42

Наименование	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Симазин	–	0,2	0,5	–	–	–	–
Сера	–	–	0,3	0,3	–	–	–
ТМТД	0,5	5,7	4,0	4,4	3,0	4,0	–
Фундазол	–	–	–	–	0,1	–	–
Фозалон	–	0,4	0,3	0,25	0,1	0,2	–
Хлорофос	–	2,5	0,3	0,4	0,50	0,5	0,4
Цинеб	3,5	2,3	3,7	2,7	2,0	2,5	2,5
Всего	**22,0**	**30,0**	**30,0**	**21,0**	**16,0**	**14,0**	**8,0**

Таблица 43. Количество (т) и состав ядохимикатов, использованных в Красносельском районе в 1980–1986 гг.

Наименование	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
2-4-Д-аминная соль	10,5	2,0	4,5	0,5	5,2	3,6	3,0
Битоксибациллин	–	2,6	–	–	–	–	–
Вофатокс	0,1	–	–	–	–	–	–
Волантон	–	–	–	2,0	3,0	–	3,0
Гексахлоран	9,0	3,0	0,5	–	–	–	–
Глифтор	–	–	–	0,02	0,02	0,2	0,1
Гранозан	1,1	1,0	0,7	1,0	0,3	–	–
ДНОК	–	–	0,06	–	–	–	–
Дурсбан	–	–	–	2,2	0,2	2,5	2,0
Купрозан	–	–	–	–	–	1,6	1,4
Метафос	1,0	0,1	–	0,28	0,28	–	0,3
Метальдегид	0,2	0,3	0,04	0,1	0,5	–	1,0
Медный купорос	–	–	0,6	–	–	–	–
Прометрин	2,0	3,2	3,2	4,7	5,7	–	4,2
Препарат № 30	0,5	–	–	–	–	–	–
Ридомил	–	–	–	0,6	0,1	–	–
Тур	–	0,2	–	–	–	–	–
ТМТД	–	1,0	0,2	0,7	0,5	0,5	–
Трихлораль	–	–	–	0,3	0,2	0,2	0,2
Формалин	2,0	1,3	1,5	1,4	0,6	–	–
Фосфид цинка	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	–	–
Хлорофос	–	4,0	7,5	3,0	1,0	–	–
Цинеб	4,5	4,7	6,0	4,0	3,2	5,6	6,0
Всего	**31,0**	**23,0**	**25,0**	**20,0**	**21,0**	**14,2**	**21,2**

Загрязнение тяжелыми металлами

Выявление химических загрязняющих веществ и систематический контроль за их содержанием является одним из этапов борьбы с загрязнением природных вод. В списке особо опасных элементов, непосредственно связанных с проблемой охраны вод, одно из первых мест занимают тяжелые металлы (ТМ), сведения о которых необходимы для контроля и прогнозирования степени загрязнения, а также проведения соответствующих природоохранных мероприятий [Оганесян, Бабаян, 1987].

Имеющиеся в литературе данные по микрокомпонентному составу воды озера Севан и его притоков малочисленны, противоречивы и имеют выборочный характер.

Впервые С.Я. Лятти [1932а, б], изучая химический состав севанской воды, определил содержание железа в озере и его притоках. Он отмечает, что озеро Севан существенно отличается от большинства крупных озер малым содержанием железа, где средняя концентрация за 1928 г. составляла 0,054 мг/л, а в основных притоках и подземных водах железо обнаружено не было [Лятти, 1982а]. Приводимая С.Я. Лятти концентрация по сравнению с современными данными меньше примерно в 1,5 раза. Однако такое сопоставление имеет ориентировочный характер ввиду ограниченного числа определений, проведенных в 1928 г.

За период 1981–1983 гг. обобщены результаты наблюдений УГКС АрмССР, дана оценка загрязненности рек Гаварагет, Аргичи, Варденис, Арпа, Макенис, Масрик, Дзкнагет медью и цинком, выявлены закономерности динамики содержания ионов меди и цинка в воде указанных притоков [Тезикова и др., 1984]. Параллельно с вышеуказанными исследованиями определение некоторых ТМ проведено Институтом геологических наук (ИГН) АН АрмССР. В представленном отчете (1984 г.) обобщены результаты изучения закономерностей изучения микрокомпонентного состава природных вод бассейна озера Севан, в том числе содержание ТМ в подземных и поверхностных водах (по состоянию на 1980 г.).

Следует отметить значительное расхождение в данных и трактовке некоторых положений гидрохимической лаборатории ИГН АН АрмССР с данными гидрометслужбы. Такое расхождение, по видимости, является результатом применения разных методов анализа и обработки проб озерной воды.

В связи со сказанным выше нет возможности проследить изменение концентраций ТМ за многолетний период; можно лишь ориентировочно говорить о возрастании концентраций ТМ со временем вследствие развития хозяйственного комплекса в бассейне озера. Поэтому в дальнейших наших рассуждениях более целесообразно сопоставление полученных результатов с соответствующими кларковыми величинами.

Основой для настоящего раздела послужили материалы (вода и гидробионты), собранные нами в озере Севан (1983–1986 гг.) [Бабаян, Оганесян и др., 1984; Оганесян, Бабаян, 1987; Бабаян, Оганесян, 1987] и в его притоках (1982–1985 гг.), а также анализы донных отложений озера и рек (1985 г.). Режимные исследования проводились на реках Гаварагет, Личк, Цаккар, Аргичи, Варденис, Арпа, Дзкнагет, Макенис, Масрик – в районах истоков рек и в приустьевых участках (рис. 22). Частичные режимные анализы проводились на р. Раздан и ручьях, имеющих сезонный характер, – Памбак, Бабаджан, Тохлуджа и др. Такой выбор объектов исследования объясняется, во-первых, их существенным вкладом в приходную и расходную части водного баланса, во-вторых, полнотой охвата всех наиболее существенных модификаций химического состава вод бассейна озера Севан. Пробы озерной воды отбирались на 4 станциях – 4, 11, 22, 24 – пластмассовым батометром объемом 10 л с 3 горизонтов с частотой один раз в месяц. Посезонно проводился отбор проб атмосферных осадков (снег, дождь) на акватории озера и в районах населенных пунктов. В 1983–1986 гг. систематический анализ включал определение валовых концентраций железа, марганца, цинка, меди, никеля, кобальта в поверхностных водах. Содержание кадмия и свинца изучали эпизодически.

В работе были использованы следующие методы анализа и обработки проб:

1. Консервацию проб проводили добавлением азотной кислоты особой чистоты (1 : 1).

2. Общее содержание ТМ в воде и гидробионтах озера Севан и притоков было определено методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре отечественного производства «Спектр-2» (после концентрирования пробы) и на модели 4000 фирмы «Перкин-Элмер» с графитовой кюветой НГА-500. Спектральные методические исследования выполнялись с использованием автоматической программы анализа спектра микропримесей 8 элементов.

3. Полуколичественное определение микроэлементов в донных отложениях, а также в органах и тканях рыб проводили методом эмиссионно-спектрографического анализа после высушивания материала до постоянного веса при температуре 105 °С и сжигания до белой золы при температуре 450 °С.

• *Содержание тяжелых металлов в притоках озера Севан*

Содержание и распределение ТМ в основных притоках озера Севан приводится в таблице 44 [Бабаян и др., 1987; Оганесян, Бабаян, 1987].

Среди изученных притоков наибольшее количество ТМ в озеро несут крупные притоки – Гаварагет, Аргичи, Варденис и Масрик (табл. 44). Вода рек всех притоков обогащена железом. Годовое поступление железа из р. Гаварагет составляет 12,9 т, р. Масрик – 17,0 т, р. Дзкнагет – 11,0 т;

а суммарное годовое поступление железа по всем исследованным рекам составляет 77,3 т (табл. 53). Реки бассейна озера Севан отличаются малым содержанием марганца (вынос 8,4 т в год). Годовое поступление в озеро Севан цинка составляет 3,6 т, меди – 1,5 т, никеля – 0,18 т и кобальта – 0,34 т (табл. 54–58). Надо отметить, что р. Арпа является одной из наиболее чистых по содержанию ТМ рек бассейна. Реки, расположенные в северо-восточной части бассейна (Дара, Памбак, Бабаджан, Джил, Артаниш и Тохлуджа), содержат высокие концентрации ТМ, однако они имеют сезонный характер и их влияние на озеро незначительно.

Таким образом, в 1985 г. в течение года с притоками в озеро Севан поступило около 100 т всех изученных ТМ.

Содержание ТМ в реках характеризуется ярко выраженной сезонной динамикой (рис. 46). Сезонные изменения концентраций железа, марганца и частично цинка во всех реках связаны с повышенным содержанием в весенне-летний период с максимумом в мае – июне. Такое распределение элементов в годовом цикле объясняется тем, что основной формой миграции указанных ТМ в реках является механическая взвесь.

Таблица 44. Концентрация (мкг/л) тяжелых металлов в некоторых притоках озера Севан (средние значения за 1983–1985 гг.)

Приток	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co
Гаварагет	97,2	13,0	3,02	7,80	0,45	0,86
Аргичи	114,6	18,8	2,24	4,27	0,21	0,45
Варденис	121,2	8,5	3,16	6,74	0,07	0,60
Арпа	99,3	12,4	1,60	4,40	0,28	0,24
Макенис	117,0	15,5	1,65	4,84	0,07	0,55
Масрик	145,6	17,6	3,62	7,84	0,62	1,04
Дара	72,5	10,0	2,75	6,80	0,08	0,45
Памбак	111,7	12,0	3,00	10,0	0,17	0,24
Бабаджан	98,2	9,55	1,53	8,00	0,12	0,30
Джил	102,5	8,40	3,00	3,85	0,10	0,30
Артаниш	70,2	10,0	1,33	5,60	0,16	0,30
Тохлуджа	108,4	7,30	4,07	12,0	0,14	0,50
Дзкнагет	92,0	10,4	3,00	7,54	0,07	0,36

Для второй группы ТМ (медь, никель, кобальт) внутригодовые изменения характеризуются максимальным поступлением в озеро летом и частично зимой (рис. 46), что связано со значительной ролью грунтового питания рек в меженный период. Увеличение содержания ТМ летом обусловлено также загрязнением притоков сточными водами промышленных и сельскохозяйственных объектов, расположенных на берегах всех рек бассейна озера.

Наблюдаемые максимумы концентрации ТМ в весенне-летний период (железо, марганец, цинк и частично медь) в притоках озера Севан, по всей вероятности, на фоне рудогенного и петрогенного имеют техногенный характер, а остальные ТМ (медь, кобальт, никель и др.) – в основном рудогенно-петрогенный, так как сезонные изменения их концентрации в основном недостоверны.

Для выявления роли антропогенного воздействия на притоки исследовано изменение концентраций ТМ по течению некоторых рек в наиболее характерные гидрологические фазы – в весенне-паводочный период и в конце летней межени.

Расположенная в пределах густонаселенного индустриально-аграрного района река Гаварагет, кроме природного, испытывает на себе постоянно растущее антропогенное влияние. В местах спуска сточных вод концентрация ТМ в реке превышает величины ПДК для вод, имеющих рыбохозяйственное значение. Поэтому выполнены анализы сточных вод наиболее крупных промышленных предприятий района им. Камо, спуск которых осуществляется непосредственно в р. Гаварагет (табл. 45).

Таблица 45. Концентрация (мкг/л) тяжелых металлов в сточных водах промышленных предприятий г. Камо (средние значения из 10 определений)

Место отбора проб	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Co
Завод «Диполь»	940	5,6	15,6	5,2	1,5	1,7
Завод «Камо-прибор»	631	4,3	8,7	7,5	1,2	1,3
Завод «Камо-кабель»	248	5,1	19,1	8,2	0,9	0,9
Сельхозтехника	495	7,1	10,5	3,5	0,8	0,9
Мясокомбинат	850	8,1	8,3	3,1	0,8	1,8
Сырзавод	20	10,8	3,6	3,0	0,9	1,2

Следует отметить хорошую самоочищающую способность рек бассейна озера Севан. Например, концентрация железа в р. Масрик уменьшается от наиболее загрязненных участков к устью рек в 10 раз, марганца – в 30 раз, меди – в 5 раз.

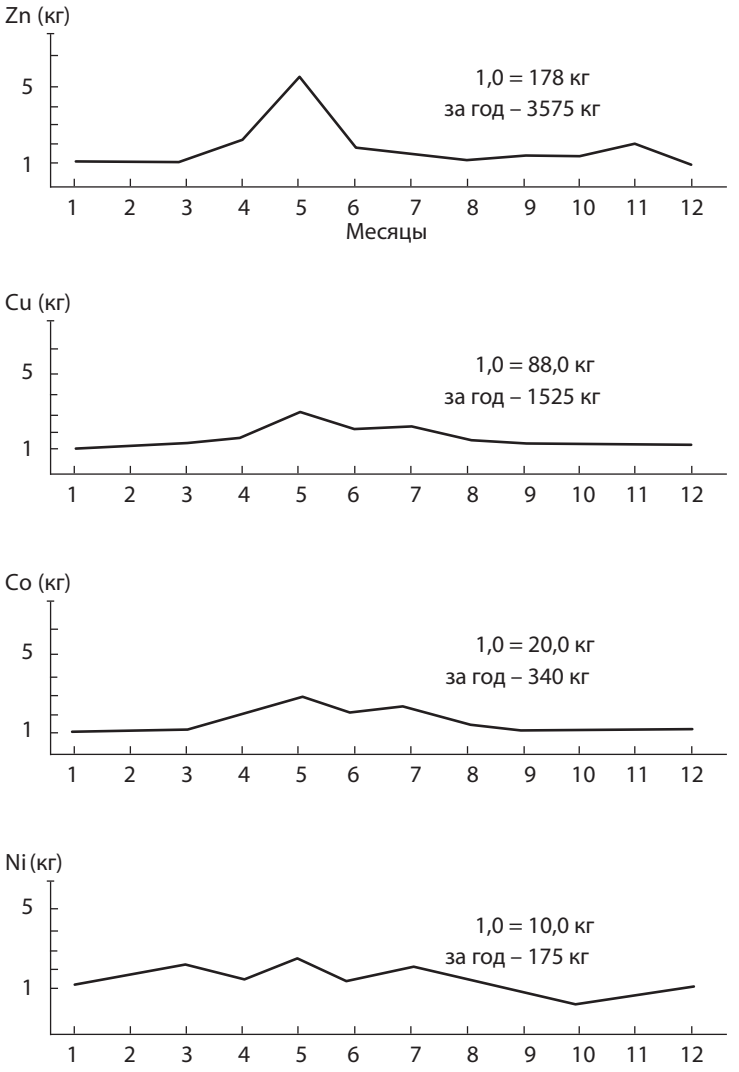
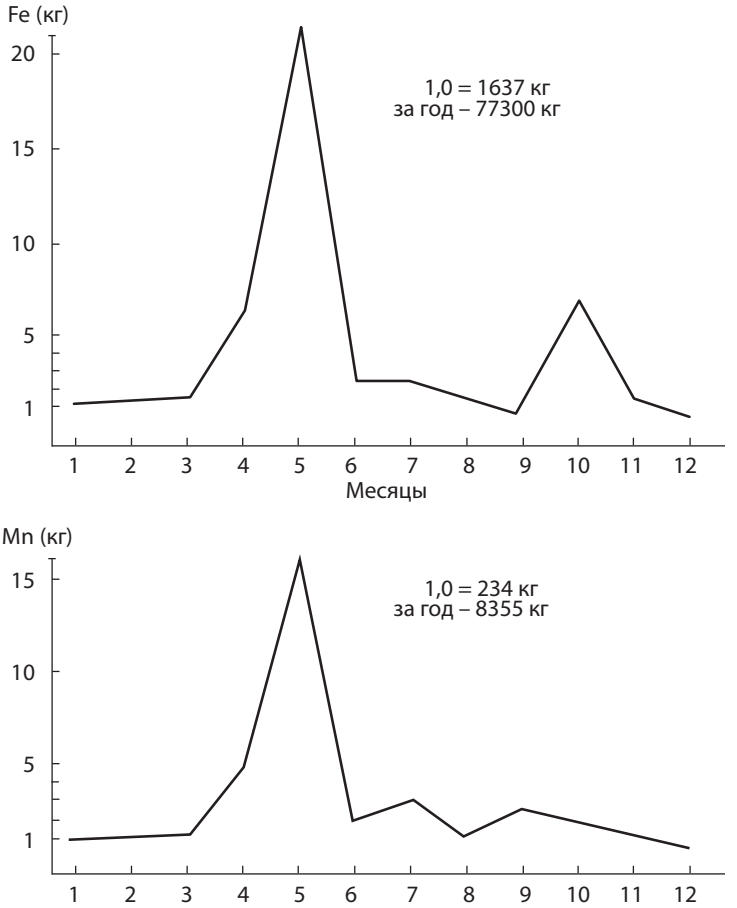


Рис. 46. Сезонная динамика поступления (кг) некоторых тяжелых металлов с основными притоками озера Севан

Fig. 46. Seasonal dynamics of inflow (kg) of some heavy metals via the main tributaries of Lake Sevan

Наиболее интенсивно процессы самоочищения протекают в устьевых участках рек при контакте с илистыми донными отложениями. Сравнительно быстрое уменьшение содержания ТМ в этих районах происходит, по всей вероятности, благодаря процессам хемосорбации и ионного обмена, что сопровождается значительным ростом содержания ТМ в донных осадках рек.



Окончание **рис. 46**
Continuation of **Fig. 46**

• *Содержание тяжелых металлов в атмосферных осадках*

Важным источником переноса ТМ являются атмосферные осадки, роль которых непрерывно возрастает в связи с увеличением загрязнения атмосферы соединениями металлов. В условиях высокогорья, где атмосферные осадки составляют одну треть приходной части водного баланса (см. табл. 64), их влияние на экосистему озера Севан особенно ощутимо [Бабаян, Оганесян, 1987]. Анализ проб атмосферных осадков (снег, дождь) показал, что содержание ТМ в них варьируется в следующих пределах: железо – 30–90 мкг/л; марганец – 6–10; цинк – 4–8; медь – 0,0–4,0; никель – 0,0–1,0; кобальт – 0,0–3,5 и свинец – 0,0–1,6 мкг/л.

В течение всего года содержание ТМ в осадках находится примерно на одном и том же уровне. В снеговых водах содержание ТМ выше, чем

в дождевых. Концентрация цинка и свинца в атмосферных осадках больше, чем в воде озера, что, вероятно, обусловлено развитием в бассейне озера народного хозяйства (автотранспорт и промышленность). Об этом свидетельствует максимальная концентрация ТМ в атмосферных осадках вблизи населенных пунктов.

Расчеты показывают, что в течение года с атмосферными осадками в озеро поступает 26,0 т железа; 2,0 т цинка; 2,3 т марганца; 1,4 т меди; 0,2 т никеля и 0,9 т кобальта.

• *Содержание тяжелых металлов в воде озера Севан*

Концентрация ТМ в воде озера Севан невысокая и находится в пределах кларковых величин [Бабаян, Оганесян и др., 1984; Оганесян, Бабаян, 1987].

В период с 1983 по 1985 г. средневзвешенные концентрации ТМ составили: железа – 68,0 мкг/л; марганца – 5,0; цинка – 6,6; меди – 3,0; кобальта – 2,0; свинца – 1,2; никеля – 0,9 и кадмия – 0,6 мкг/л (табл. 46, 52).

По распространенности в воде Севана ТМ можно расположить в следующем ряду: Fe > Zn > Mn > Cu > Co > Pb > Ni > Cd.

Межгодовые изменения концентраций ТМ в воде озера Севан за исследуемый период незначительны, наблюдается лишь некоторое увеличение содержания никеля и кобальта в 1985 г. (табл. 46).

Таблица 46. Концентрация (мкг/л) ТМ в воде озера Севан в 1983–1985 гг. В числителе – средневзвешенные значения; в знаменателе – диапазон изменения концентраций

Металл	1983	1984	1985
Железо	71,5 / 30,0–100,0	65,4 / 42,3–87,6	67,0 / 27,0–92,5
Марганец	5,0 / 2,8–9,0	4,7 / 3,0–11,0	5,0 / 3,5–5,0
Цинк	7,6 / 3,5–10,0	6,0 / 4,5–12,0	6,0 / 3,5–10,0
Медь	3,0 / 1,3–5,0	3,2 / 2,6–6,0	3,0 / 2,0–5,0
Никель	0,7 / 0,0–1,0	0,6 / 0,0–2,5	1,3 / 0,0–3,2
Кобальт	1,6 / 0,0–3,5	2,0 / 1,0–4,3	2,5 / 0,0–5,0

Содержание ТМ в водах Большого Севана в основном выше, чем в водах Малого (табл. 52). Вероятно, это объясняется тем, что из 28 притоков озера в Большой Севан впадает 24 (табл. 20). В водах Севана концентрация железа в 1,5, марганца – в 3 раза меньше, а меди, цинка, кобальта

и никеля – соответственно в 1,3, 1,06, 3,9 и 3,6 раза больше, чем содержание аналогичных ТМ в воде его притоков.

Наибольшие концентрации железа и марганца наблюдаются в Севане в весенне-осенний период с максимумом в июне (рис. 47). Концентрации других ТМ (медь, никель, кобальт) повышаются летом, частично зимой (кобальт). Цинк занимает промежуточное положение между двумя группами ТМ с весенне-летним максимумом концентраций (рис. 47). Сезонные изменения в Малом Севане в основном совпадают с таковыми в Большом Севане.

Для всех исследуемых ТМ в воде озера наблюдается неоднородность вертикального распределения. При этом содержание железа и марганца увеличивается с глубиной как в Малом, так и в Большом Севане, а концентрации цинка и меди в Малом Севане уменьшаются до 30 м, а потом увеличиваются ко дну. В Большом Севане, наоборот, их концентрации увеличиваются до 15 м, а ко дну уменьшаются. Концентрации никеля, кобальта с глубиной в основном не изменяются (рис. 48).

Содержание исследованных ТМ в воде озера Севан и его притоков в основном не превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов [Лурье, 1984].

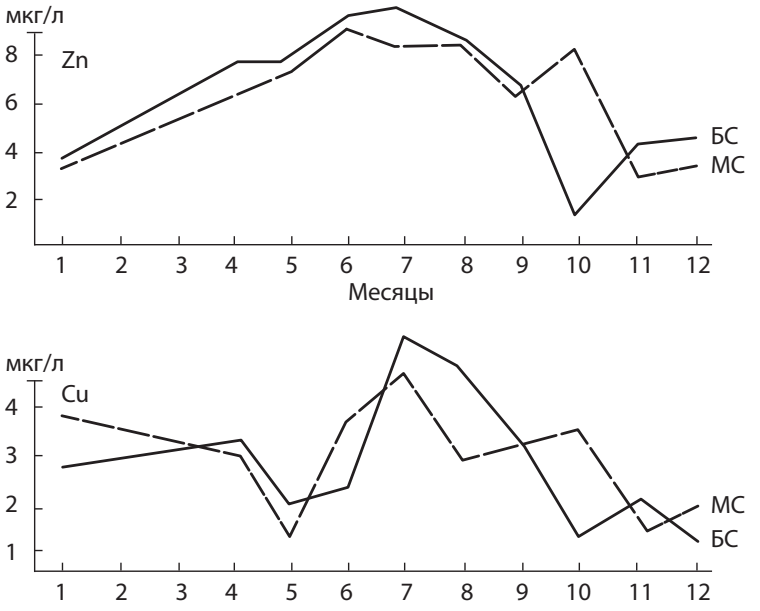
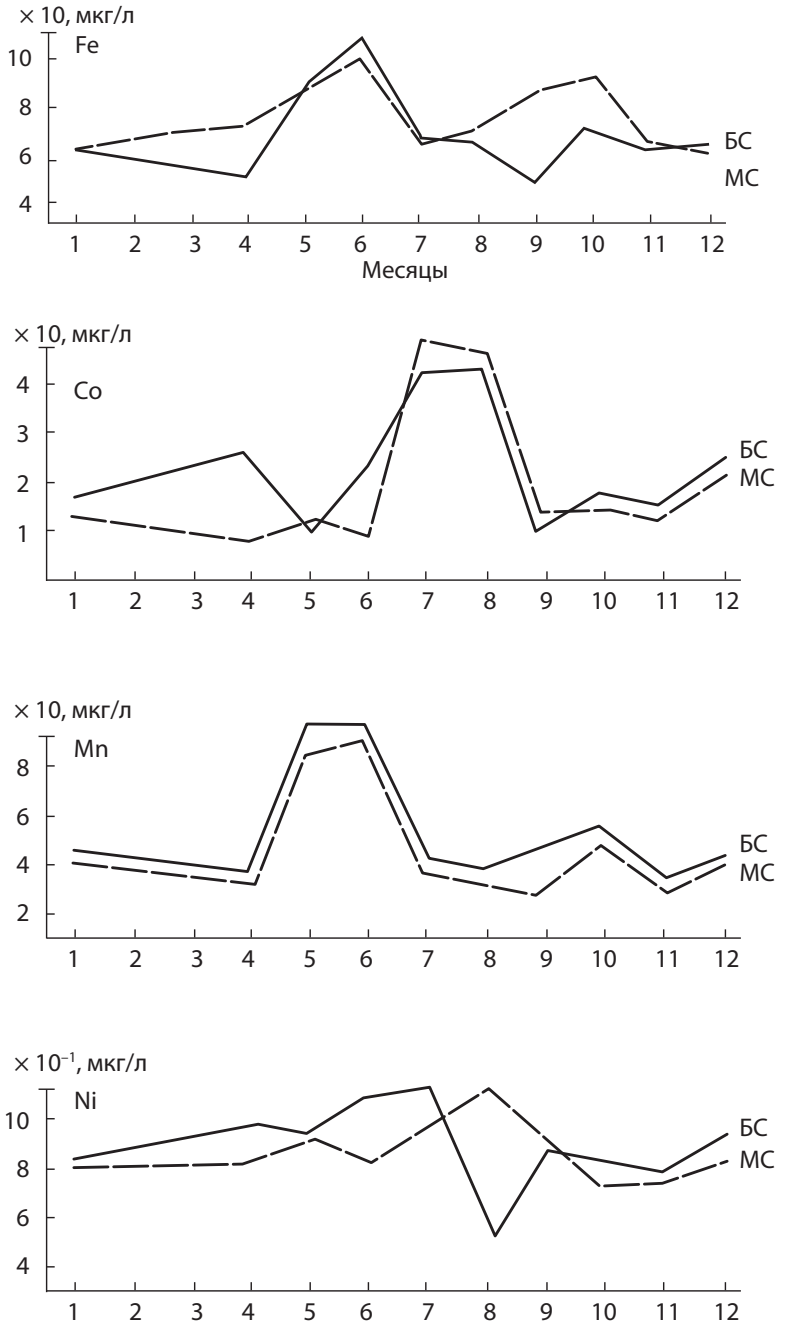


Рис. 47. Сезонная динамика средневзвешенной концентрации (мкг/л) тяжелых металлов в Малом (МС) и в Большом Севане (БС), усредненные данные за 1983–1985 гг.

Fig. 47. Seasonal dynamics of the mean suspended concentration (mkg/l) of heavy metals in Minor Sevan (MC) and Major Sevan (БС), averaged data for 1983–1985



Окончание **рис. 47**
Continuation of **Fig. 47**

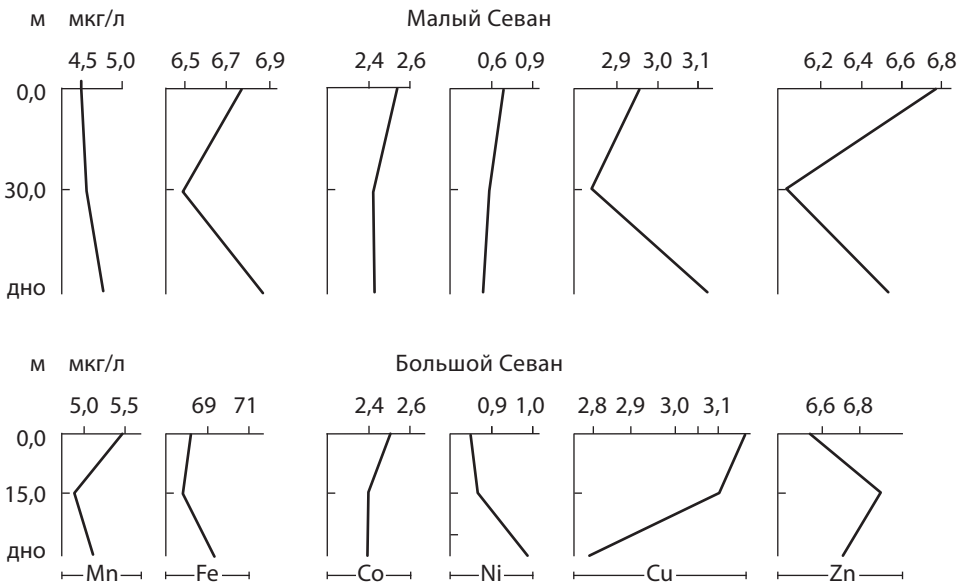


Рис. 48. Вертикальное распределение некоторых тяжелых металлов в водах Малого и Большого Севана (среднее за 1983–1985 гг.)

Fig. 48. Vertical distribution of some heavy metals in waters of Minor Sevan and Major Sevan (mean for 1983–1985)

• *Содержание тяжелых металлов в донных отложениях озера Севан и его притоков*

Способность донных отложений аккумулировать соединения ТМ определяет их важную роль в круговороте элементов и направленности процессов самоочищения и вторичного загрязнения вод озера Севан и его притоков [Оганесян, Бабаян, 1987].

Среднее содержание ТМ в донных отложениях озера Севан и его притоков в основном соответствует кларковым величинам. В донных отложениях Большого Севана концентрация ТМ больше, чем в донных отложениях Малого Севана: железа – в 1,54 раза; цинка – в 1,4; меди – в 2,0; никеля – в 3,5 и хрома – в 2,3 раза (табл. 47). Динамика концентраций ТМ в донных отложениях в основном повторяет динамику их концентраций в водах озера [Бабаян, Оганесян, 1987; Оганесян, Бабаян, 1987].

Содержание ТМ в донных отложениях рек превышает их содержание в донных отложениях озера: железа – в 1,4 раза; цинка – в 3,0; меди – в 1,5; свинца – в 1,9; никеля – в 2,4 и хрома – в 3,8 раза. Наибольшее количество железа наблюдается в донных отложениях р. Гаварагет, цинка – в р. Личк, меди – в р. Варденис, свинца – в р. Аргичи, а никеля – в р. Масрик (табл. 47).

Расчеты коэффициентов накопления «вода – дно» показали, что в донных отложениях рек Аргичи и Макенис больше накапливается железа, в реках Гаварагет и Личк – цинка; Личк, Варденис и Масрик – меди и т.д. Большой накопительной способностью обладают также донные отложения рек Арпа и Макенис (табл. 48).

Таблица 47. Концентрация (мг/кг сухого веса) некоторых тяжелых металлов в донных отложениях озера Севан и его притоков

Водные объекты	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr
Гаварагет	50,0	0,34	0,05	0,03	0,10	0,12
Личк	50,0	0,35	0,05	0,04	0,19	0,13
Аргичи	65,0	0,29	0,05	0,05	0,18	0,13
Варденис	54,0	0,22	0,05	0,04	0,15	0,08
Арпа	47,0	0,23	0,05	0,03	0,10	0,10
Макенис	51,0	0,28	0,04	0,05	0,16	0,20
Масрик	52,0	0,27	0,05	0,03	0,29	0,60
Малый Севан	26,0	0,08	0,02	0,02	0,04	0,03
Большой Севан	40,0	0,11	0,04	0,02	0,14	0,07

Таблица 48. Значения ($\times 10^3$) коэффициента накопления некоторых тяжелых металлов в системе «вода – дно» в озере Севан и его притоках

Водный объект	K_{Fe}	K_{Zn}	K_{Cu}	K_{Pb}
Гаварагет	185	43	12	2,0
Личк	25	50	3,2	40
Аргичи	360	29	25	60
Варденис	170	27	28	75
Арпа	210	32	20	46
Макенис	430	42	17	44
Масрик	105	34	17	57
Малый Севан	520	11	16	2,4
Большой Севан	260	30	10	3,6

• *Содержание тяжелых металлов в гидробионтах озера Севан*

Определение содержания тяжелых металлов проводилось в фитопланктоне, зоопланктоне, в бентосных животных (моллюски, олигохеты, гаммарусы, хирономиды, ручейники, пиявки, подёнки) и в рыбах (форель, сиг). Сбор материала проводился весной и осенью 1985 г. Предварительно обработанные пробы гидробионтов подвергались эмиссионному спектральному анализу на спектрометре модели «Пэркин-Элмер»-4000.

Ввиду того что содержание тяжелых металлов в гидробионтах озера Севан до настоящего времени не изучалось и практически невозможно было найти участки, полностью лишенные антропогенного воздействия, сравнение полученных нами результатов с фоновыми концентрациями не проводилось. Содержание ТМ в отдельных звеньях трофической цепи приведено в таблице 49.

Таблица 49. Содержание тяжелых металлов в воде (мг/л) и в некоторых гидробионтах (мг/кг сухого веса) озера Севан (1985 г.)

Металл	Вода	Зоопланктон	Зообентос	Рыба
Марганец	0,005	1,7	2,8	0,05
Цинк	0,007	59,2	34,0	29,0
Медь	0,003	4,3	6,8	3,2
Свинец	0,001	3,0	1,5	0,5
Кадмий	0,0006	0,2	0,0006	–

Как видно из таблицы 49, содержание ТМ, аккумулированных гидробионтами, превышает их содержание в воде в сотни и тысячи раз.

Если содержание ТМ в воде озера по убыванию концентрации составляет следующий ряд: Fe > Zn > Mn > Cu > Co > Pb > Ni > Cd,
то в гидробионтах оно несколько меняется: Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Cd.

При этом содержание ТМ в гидробионтах Большого Свана несколько отличается от их содержания в Малом. Так, концентрация ТМ в зоопланктоне Малого Севана выше, чем в зоопланктоне Большого Севана. В зообентосе, напротив, содержание ТМ выше в Большом Севане. Для отдельных представителей зообентоса по убыванию концентраций ТМ можно составить следующие ряды:

марганец: моллюски > хирономиды > олигохеты > подёнки > гаммарусы > ручейники > пиявки;

цинк: ручейники > олигохеты > моллюски > подёнки > пиявки > хирономиды > гаммарусы;

медь: пиявки > олигохеты > подёнки > гаммарусы > моллюски > хирономиды > ручейники;

кадмий: олигохеты > моллюски > хирономиды > пиявки > гаммарусы > ручейники > подёнки;

свинец: олигохеты > подёнки, пиявки > хирономиды, ручейники > гаммарусы > моллюски.

У севанских сигов наибольшие концентрации железа, марганца и меди обнаружены в печени, а в тканях пищеварительного тракта больше никеля и цинка (табл. 50, 59). Средние концентрации ТМ в рыбах меньше, чем в зоопланктонных и зообентосных организмах.

Таблица 50. Концентрация (мг/кг сырого веса) тяжелых металлов в некоторых органах и тканях севанских сигов (средние данные по определениям за период весна – осень 1985 г.)

Металл	Печень	Сердце	Желудок	Мышцы	Жировой плавник
Железо	38,0	38,7	36,3	6,6	18,2
Марганец	3,6	0,75	1,8	0,65	2,4
Цинк	20,8	35,3	85,0	14,3	69,1
Медь	16,0	1,1	4,4	2,9	6,0
Свинец	не обн.	не обн.	0,03	не обн.	0,02
Кобальт	не обн.	не обн.	0,04	не обн.	0,08
Никель	0,02	0,015	0,30	0,17	0,008

Нами рассчитаны также коэффициенты накопления в системе «вода – гидробионты» (в зоопланктоне, зообентосе и рыбе) (табл. 51).

По убыванию коэффициента накопления в гидробионтах озера Севан составлены следующие ряды:

марганец: зообентос > зоопланктон > рыба;

цинк: зоопланктон > зообентос > рыба;

медь: зообентос > зоопланктон > рыба;

свинец: зоопланктон > зообентос > рыба;

кадмий: зоопланктон > рыба > зообентос.

По способности к накоплению гидробионтами озера Севан ТМ можно расположить в следующий ряд по убыванию:

цинк > медь > марганец > свинец > кадмий.

Таблица 51. Коэффициенты накопления некоторых тяжелых металлов в гидробионтах озера Севан (1985 г.)

Металл	Вода	Зоопланктон	Зообентос	Рыба
Марганец	1,0	1500	3000	160
Цинк	1,0	8500	5000	4000
Медь	1,0	1500	2300	1000
Свинец	1,0	560	340	100
Кадмий	1,0	330	10	80

Для выявления возможных причин увеличения естественной смертности сигов озера Севан в 1984 г. было исследовано 50 самок и самцов нормальных и погибающих рыб. Определение концентрации 27 микроэлементов в некоторых органах и тканях рыб было проведено эмиссионно-спектрографическим методом.

Полученные результаты (см. табл. 59) не выявляют достоверных различий концентраций микроэлементов в органах и тканях нормальных и погибающих сигов и находятся в пределах нормы для пресноводных рыб [Алабастер, Ллойд, 1984].

Не исключена возможность косвенного влияния ТМ (особенно цинка, концентрация которого чуть выше нормы) на физиолого-биохимические процессы, приводящие к гибели рыб, которые требуют специального исследования.

* * *

Пестициды и различные формы тяжелых металлов характеризуются различной степенью биологической опасности, что чаще всего проявляется при хроническом действии малых концентраций токсикантов. В связи с этим оценка опасности вредных компонентов сбросных вод для водных организмов и среды их обитания встречает определенные трудности из-за отсутствия достаточно чувствительных методов и критериев, способных дать интегральную информацию о токсичности водной среды, содержащей низкие уровни токсикантов, особенно при необходимости экспресс-тестирования [Оганесян и др., 1986, 1988].

Учитывая сказанное и возрастающие масштабы антропогенного загрязнения вод озера Севан и его притоков, с 1983 г. нами начаты исследования по изучению мутагенной активности указанных вод по частоте возникновения ауксотрофных мутаций. Для этого был использован скрининг-тест Эймса, который служит для тестирования на мутагенность в системе Salmonella и является наиболее чувствительным индикатором. Пробы брали на стандартных станциях притоков (рис. 22) и озера Севан (см. рис. 53).

Полученные результаты показывают, что из основных притоков только воды рек Гаварагет и Арпа индуцируют обратные мутации (от 2 до 5 раз), которые свидетельствуют о наличии мутагенной активности их вод. Воды озера Севан мутагенной активностью не обладают.

С позиций экологической токсикологии важно иметь достоверные данные не только о степени токсичности каждого вещества для гидробионтов, но и качественные и количественные показатели совместного действия поступающих в экосистему комплексов веществ, их распределение и трансформацию в конкретных лимнических условиях [Алабастер и Ллойд, 1984].

Поэтому необходимо провести серьезные исследования по влиянию комплекса токсических веществ на гидробионты, а также на самоочистительную способность Севана с учетом его конкретных гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических условий, искать интегральные показатели токсичности, а также создать сеть регионального биоэкологического мониторинга озера Севан и его притоков [Оганесян и др., 1986; 1988].

* * *

Обобщая материалы по загрязнению озера биогенами, пестицидами и тяжелыми металлами, нужно учитывать, что Севан, как и другие аналогичные водоемы, является накопительной системой, скорость накопления определяет время старения озера.

Понижением уровня Севана на 18,8 м с параллельной интенсификацией антропогенного воздействия мы сократили время старения озера на сотни и тысячи лет и за короткий срок (25–30 лет) привели к его эвтрофированию, снизили устойчивость экосистемы. Чтобы избежать дальнейшей деградации экосистемы, необходимо пересмотреть хозяйственную политику в его водосборном бассейне, решить задачи устойчивого развития, то есть сочетания дальнейшего экономического роста с требованиями защиты экосистемы озера, улучшения качества вод притоков и рационального использования природных ресурсов [Оганесян, Парпаров, 1986а, б].

Сокращение поступления эвтрофирующих и загрязняющих веществ в Севан и его притоки – это проблема управления. Поэтому необходим переход от контроля над эвтрофированием и загрязнением природных вод к непосредственному регулированию и управлению этими процессами и, соответственно, к сведению до минимума антропогенного воздействия на экологическую систему озера.

Таблица 52. Сезонная динамика средневзвешенной в столбе воды концентрации (мкг/л) тяжелых металлов в озере Севан (усредненная за 1983–1985 гг.)

Месяц	Малый Севан						Большой Севан					
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co
1	51,3	4,13	2,73	3,57	0,80	1,30	64,0	4,53	3,97	3,43	0,82	1,73
4	64,0	3,43	3,43	7,87	0,84	0,96	50,3	3,70	3,07	6,13	0,99	2,60
5	86,0	8,06	1,90	7,87	0,92	1,20	85,0	9,56	1,37	7,83	0,95	1,00
6	91,6	9,33	2,40	9,63	0,82	0,97	110,3	9,40	3,57	9,47	1,06	1,23
7	56,6	3,60	5,70	9,63	0,97	1,13	67,0	3,83	4,97	8,47	4,83	4,20
8	60,3	3,10	4,97	8,67	1,13	0,53	62,3	3,66	2,77	8,53	4,63	4,47

Окончание табл. 52

Месяц	Малый Севан						Большой Севан					
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co
9	74,5	2,96	3,23	6,73	0,88	0,86	48,8	4,50	3,27	6,43	1,13	1,03
10	82,0	4,70	1,27	1,17	0,71	0,80	74,3	5,60	3,63	8,07	1,40	1,57
11	55,0	2,96	2,87	4,07	0,74	0,74	59,3	3,10	1,93	2,67	1,15	1,47
12	52,3	3,56	1,37	4,37	0,80	0,90	64,0	3,53	2,47	3,53	2,43	2,10
Средн.	**67,4**	**4,58**	**2,98**	**6,36**	**0,86**	**0,94**	**68,5**	**5,14**	**3,10**	**6,46**	**1,94**	**2,14**

Таблица 53. Годовое поступление железа (кг) в озеро Севан с его основными притоками (среднее за 1983–1985 гг.)

Река	Месяц												Средн. за месяц	Годовой приход
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Гаварагет	505	591	80	1061	7605	991	778	177	88	714	65	245	1061	12900
Личк	59	51	151	415	1989	72	467	274	58	1073	272	66	412	4947
Аргичи	150	253	140	611	1932	1285	711	485	84	3053	630	71	784	9405
Варденис	71	32	49	457	5236	395	457	37	712	601	255	25	694	8327
Арпа	257	294	544	470	3532	158	156	583	92	1871	265	41	689	8263
Макенис	43	52	68	1652	2214	182	191	25	21	726	58	187	451	5419
Масрик	546	616	711	3421	6200	207	577	292	261	3033	630	505	1417	16999
Дзкнагет	6	46	34	1950	7194	858	555	54	12	264	66	14	921	11053
Всего	**1637**	**1935**	**1777**	**10037**	**35902**	**4148**	**3892**	**1927**	**1328**	**11335**	**2241**	**1154**	**6429**	**77313**

Таблица 54. Годовое поступление марганца (кг) в озеро Севан с его основными притоками (среднее за 1983–1985 гг.)

Река	Месяц												Средн. за месяц	Годовой приход
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Гаварагет	62	40	76	121	730	99	246	54	49	13	12	35	128	1537
Варденис	4	5	4	49	272	38	60	5	44	36	19	3	45	539
Макенис	27	22	20	202	461	18	20	4	23	20	12	10	70	839
Масрик	64	16	8	67	1227	24	61	21	327	236	27	66	167	2144
Дзкнагет	2	3	4	236	144	54	50	14	9	12	4	2	44	534
Арпа	23	49	31	47	367	22	160	61	66	47	240	3	93	1116
Аргичи	30	21	66	358	294	113	67	30	23	55	15	8	90	1080
Личк	22	40	14	45	186	7	50	27	29	84	47	13	47	564
Всего	**234**	**196**	**223**	**1125**	**3681**	**375**	**714**	**216**	**570**	**503**	**376**	**140**	**696,25**	**8353**

Таблица 55. Годовое поступление цинка (кг) в озеро Севан с его основными притоками (среднее за 1983–1985 гг.)

Река	Месяц												Средн. за месяц	Годовой приход
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Гаварагет	39,8	48,8	41,8	53,6	221,4	32,3	77,8	77,8	33,0	25,2	75,8	45,2	64,3	771,7
Варденис	6,7	3,8	7,6	56,0	121,8	87,0	29,8	12,2	17,7	20,5	16,4	10,4	32,5	389,9
Макенис	14,0	8,7	7,9	24,1	50,1	16,5	12,0	10,6	7,3	13,9	12,2	8,5	15,5	185,8
Масрик	49,7	44,1	52,3	69,6	365,3	56,4	35,6	24,6	21,8	47,2	80,5	37,3	73,7	884,4

Окончание табл. 55

Река	Месяц												Средн. за месяц	Годовой приход
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Дзкнагет	3,2	2,4	2,8	55,2	50,6	41,7	6,5	9,2	1,6	5,9	1,3	0,9	15,1	181,3
Арпа	16,9	20,3	17,1	5,7	89,6	12,0	48,2	8,6	40,5	68,9	75,5	7,3	34,2	410,6
Аргичи	13,0	20,1	22,4	21,2	49,5	24,0	22,5	18,2	13,6	35,4	61,4	29,2	27,5	330,5
Личк	35,0	29,7	36,8	38,3	47,9	31,0	29,1	22,4	60,2	25,2	37,0	28,9	35,1	421,5
Всего	**178,3**	**177,9**	**188,7**	**323,7**	**936,2**	**300,9**	**261,5**	**182,8**	**195,7**	**242,2**	**360,1**	**167,7**	**297,95**	**3575,7**

Таблица 56. Годовое поступление меди (кг) в озеро Севан с его основными притоками (среднее за 1983–1985 гг.)

Река	Месяц												Средн. за месяц	Годовой приход
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Гаварагет	21	17	24	21	62	30	27	30	23	14	8	16	24	293
Варденис	5	5	4	14	40	51	31	6	9	4	2	8	15	179
Макенис	3	3	3	9	15	7	6	6	2	2	2	4	5	62
Масрик	24	18	25	54	61	37	32	33	5	28	15	28	30	360
Дзкнагет	0,47	0,7	0,86	25,6	44,3	13,1	18,5	1,5	0,47	0,74	0,86	0,47	9,0	107,57
Арпа	8,8	8,4	14,0	4,3	14,5	3,7	43,5	9,3	25,0	8,9	19,1	5,0	13,7	164,5
Аргичи	10,9	14,3	14,7	8,9	9,8	32,7	26,1	16,0	13,6	19,3	15,6	8,4	15,9	190,2
Личк	14,8	29,7	14,6	6,8	9,4	12,5	20,0	16,2	9,4	10,7	10,8	13,1	14,0	168,1
Всего	**87,97**	**96,1**	**100,16**	**143,6**	**256,0**	**187,0**	**204,1**	**118,0**	**87,47**	**87,64**	**73,36**	**82,97**	**127,03**	**1524,3**

Таблица 57. Годовое поступление никеля (кг) в озеро Севан с его основными притоками (среднее за 1983–1985 гг.)

Река	Месяц												Средн. за месяц	Годовой приход
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Гаварагет	2,29	3,09	0,96	1,11	12,49	2,93	5,90	5,08	3,30	0,84	1,88	3,81	3,64	43,68
Варденис	0,10	0,08	0,07	0,36	0,64	0,82	0,60	0,17	0,23	0,07	0,17	0,16	0,29	3,47
Макенис	0,15	0,22	0,17	0,38	0,52	0,42	0,37	0,17	0,12	0,10	0,10	0,11	0,24	2,83
Масрик	5,53	3,43	3,56	8,10	10,92	4,23	5,77	6,42	2,32	0,93	3,23	6,45	5,07	60,89
Дзкнагет	0,06	0,09	0,10	2,17	2,37	1,07	0,76	0,33	0,07	0,09	0,07	0,11	0,61	7,29
Арпа	0,72	7,70	17,11	0,38	0,58	0,46	2,95	1,32	1,31	0,98	0,83	0,27	2,88	34,61
Аргичи	0,62	1,49	0,98	0,57	1,58	2,90	2,8	1,60	1,10	1,21	1,56	1,30	1,48	17,72
Личк	0,36	0,45	0,40	0,33	0,30	0,44	0,41	0,31	0,67	0,24	0,47	0,48	0,40	4,86
Всего	**9,83**	**16,55**	**23,35**	**13,4**	**29,4**	**13,27**	**19,56**	**15,4**	**9,12**	**4,46**	**8,31**	**12,69**	**14,61**	**175,34**

Таблица 58. Годовое поступление кобальта (кг) в озеро Севан с его основными притоками (среднее за 1983–1985 гг.)

Река	Месяц												Средн. за месяц	Годовой приход
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Гаварагет	4,92	5,22	4,10	7,99	16,60	9,20	8,42	6,27	5,90	4,97	4,47	5,36	6,95	83,42
Варденис	1,26	0,75	0,73	0,89	9,20	9,33	0,67	9,03	2,17	0,79	1,47	1,72	2,58	31,01
Макенис	1,54	1,17	1,25	2,88	6,17	0,68	2,05	0,23	1,31	1,18	1,22	1,31	1,75	20,99
Масрик	6,37	6,03	7,04	11,18	13,34	5,89	10,50	11,02	5,52	5,56	8,21	8,55	8,27	99,21
Дзкнагет	0,11	0,17	0,26	10,64	2,06	6,32	3,86	1,54	0,07	0,09	0,19	0,09	2,12	25,40

Окончание табл. 58

Река	Месяц												Средн. за месяц	Годовой приход
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Арпа	1,04	0,98	1,71	1,04	1,21	0,54	8,24	3,11	1,67	1,67	1,91	1,02	2,01	24,14
Аргичи	0,73	2,27	2,66	1,28	3,86	2,40	7,11	4,16	2,79	4,10	0,86	3,18	2,95	35,40
Личк	4,09	0,78	0,99	0,81	0,86	0,66	4,67	0,50	1,69	0,98	2,57	2,10	1,72	20,70
Всего	**20,06**	**17,37**	**18,74**	**36,71**	**53,3**	**35,02**	**45,52**	**28,86**	**21,12**	**19,34**	**20,9**	**23,33**	**28,35**	**340,27**

Таблица 59. Концентрация ($\times 10^{-5}$ мг/кг сырого веса) микроэлементов в некоторых органах нормальных (К) и погибающих (О) самок (.) и самцов (:) севанских сигов (1984 г.)

Металл	Пол	Мышцы		Сердце		Печень		Желудок и кишки		Жировые плавники	
		К	О	К	О	К	О	К	О	К	О
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
Li	.	0,22	0,06	0,23	0,05	0,08	0,08	0,04	0,31	1,08	0,06
	:	0,15	0,04	0,17	0,007	0,15	0,08	0,23	0,19	0,28	0,08
B	.	0,77	0,11	1,0	–	7,71	–	0,57	–	13,78	–
	:	–	0,53	–	–	–	0,99	–	0,57	–	0,20
Na	.	126,15	67,3	333,0	121,5	240,8	72,0	102,07	73,4	271,5	57,7
	:	123,7	276,5	306,0	131,2	197,5	309,3	154,06	233,8	234,9	187,9
Mg	.	30,8	110,0	73,3	21,3	19,8	93,1	19,3	77,7	123,4	81,5
	:	69,7	26,03	17,14	13,11	29,03	21,35	25,6	55,07	54,7	31,25
Al	.	10,51	1,13	2,33	1,22	4,76	2,6	5,01	1,27	77,09	0,87
	:	1,29	4,37	3,06	0,71	1,19	10,53	6,45	61,05	2,96	7,14

Продолжение табл. 59

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
Si	.	2,53	0,47	10,0	0,28	3,89	3,66	8,39	3,04	59,5	1,05
	:	0,39	0,87	0,7	0,17	0,40	5,8	7,85	136,8	1,66	18,44
P	.	121,4	116,3	176,7	159,5	331,6	161,4	157,1	87,46	269,7	176,0
	:	131,9	300,0	228,4	131,2	283,2	430,0	147,3	244,0	365,6	300,0
K	.	195,9	66,1	133,0	121,5	340,3	114,2	161,1	61,8	280,6	57,03
	:	177,4	115,6	130,6	131,2	185,5	251,7	100,7	135,5	172,5	131,4
Ca	.	39,96	64,04	13,3	15,95	4,2	12,9	27,6	142,0	144,3	106,0
	:	41,74	160,0	22,86	9,82	14,1	14,3	53,18	176,1	38,03	192,7
Ti	.	2,13	0,5	2,5	1,23	2,18	0,74	2,13	0,5	2,81	1,11
	:	0,11	0,96	0,24	0,33	0,20	0,72	0,11	0,96	0,82	0,48
V	.	0,06	0,098	–	0,49	0,05	0,06	0,04	0,035	0,06	0,045
	:	0,007	0,005	–	–	0,013	0,04	0,937	0,10	0,017	–
Cr	.	0,003	0,02	0,3	0,001	0,002	0,003	0,008	0,009	0,001	0,011
	:	0,009	–	0,013	0,001	0,005	0,009	0,009	0,04	0,006	0,002
Mn	.	0,08	0,34	0,1	0,09	0,28	0,38	0,11	0,42	0,19	0,11
	:	0,05	0,33	0,05	0,01	0,44	0,17	0,26	0,61	0,26	0,09
Fe	.	0,44	0,18	2,33	3,92	4,67	13,7	3,68	2,4	2,46	0,38
	:	0,21	3,36	5,31	1,75	2,92	37,2	3,59	31,6	1,19	1,06
Co	.	–	–	–	–	–	–	0,004	–	0,014	–
	:	–	–	–	–	–	–	–	–	0,002	0,011
Ni	.	0,001	–	0,3	–	0,002	–	0,03	0,02	0,02	0,006
	:	0,0006	0,008	–	–	–	0,008	0,005	0,03	0,001	0,024

Окончание табл. 59

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
Cu	.	0,42	0,08	1,17	0,09	2,27	1,91	0,6	0,52	0,91	0,40
	:	0,16	0,28	0,98	0,41	0,94	1,76	0,28	0,77	0,27	0,33
Zn	.	2,3	1,48	4,0	2,85	2,87	1,7	7,46	2,69	7,35	4,03
	:	0,57	5,85	3,06	4,1	1,30	2,65	9,72	10,1	6,48	4,40
Ga	.	–	–	–	–	0,0005	–	–	–	0,004	–
	:	–	–	–	–	–	–	–	0,005	0,0005	–
Rb	.	1,06	0,32	0,4	4,93	4,47	0,32	2,14	0,63	4,44	0,11
	:	1,75	0,42	0,73	0,23	0,74	6,72	0,49	2,62	4,26	0,89
Sr	.	3,46	2,17	1,33	1,59	1,71	0,98	2,51	1,93	8,99	3,41
	:	1,54	5,38	2,28	0,31	0,81	0,99	1,48	8,24	1,24	3,84
Zn	.	0,25	0,098	0,06	0,16	1,002	0,075	0,2	0,10	0,74	0,14
	:	0,09	0,32	0,17	0,41	0,13	0,2	0,10	0,74	0,096	0,1
Mo	.	0,008	–	–	0,001	0,03	0,006	0,015	0,002	0,013	0,001
	:	0,003	0,004	–	–	0,011	0,01	0,006	0,004	0,04	0,006
Ag	.	–	–	0,005	–	0,03	0,09	0,004	–	0,012	0,03
	:	0,002	–	–	0,01	0,02	0,06	–	–	0,009	0,003
Ba	.	0,007	–	1,77	–	0,21	–	0,22	–	4,6	–
	:	0,009	0,04	0,05	–	–	0,07	0,08	0,39	0,042	0,05
La	.	1,96	9,77	0,18	0,91	2,4	0,84	1,9	0,28	5,15	2,15
	:	0,48	0,88	0,67	0,41	0,56	0,5	0,6	2,65	2,4	0,55
Pb	.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	:	–	–	–	–	–	–	0,003	0,014	0,002	0,00

ГЛАВА 4
ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕВАНА ПРИ ПОНИЖЕНИИ УРОВНЯ

Изменение морфометрии Севана

Озеро Севан до искусственного понижения его уровня (1916,2 НУБМ) представляло собой обширный водоем со средней длиной 70 км, шириной 20 км и наибольшей глубиной 98,6 м. Как по происхождениию (см. главу 2), так и лимнологически Севан состоит из двух морфометрически разных частей – глубоководного Малого Севана (МС) с максимальной глубиной 98,6 м и сравнительно мелководного Большого Севана (БС) с максимальной глубиной 58,7 м (рис. 51, 52, 53а, б). Средняя глубина озера составляла 41,3 м: МС – 50,0 м и БС – 37,8 м; площадь зеркала озера 1416,0 км^2: МС = 383,6 км^2 и БС – 1032,4 км^2; объем водных масс озера 58,4 км^3: МС – 19,5 км^3 и БС – 38,9 км^3; длина береговой линии 269 км: МС – 122 км и БС – 147 км [Киреев, 1933]; (табл. 60, 61; рис. 51, 52).

Искусственное понижение уровня озера на 18,8 м к 1985 г. (1897,4 м НУБМ) было произведено неравномерно.

При рассмотрении динамики понижения уровня озера использовались следующие показатели:

– динамика спуска уровня озера (рис. 49);

– динамика изменения средней глубины, площади и объема (рис. 51, 52; табл. 60, 61);

– динамика проточности, то есть отношения объема воды, вытекающей из озера в данном году (V_1), к объему озера (МС, БС) в том же году (V_2) (рис. 50):

$$a = \frac{V_1}{V_2}.$$

Анализ динамики понижения уровня и, следовательно, уменьшения объема озера, позволяет выделить 5 этапов (рис. 49, 50) [Оганесян, Казарян, 1986].

1. 1933–1940 гг. (8 лет) – период незначительного понижения в пределах среднегодовых колебаний уровня. За это время уровень снизился на 0,65 м (0,08 м в год), площадь уменьшилась на 3,0 км^2, а объем – на 0,4 км^3 (табл. 60, 61; рис. 51, 52).

2. 1941–1948 гг. (8 лет) – период умеренного понижения в пределах вековых колебаний уровня озера. За этот период уровень снизился на 2,50 м (0,31 м в год), площадь уменьшилась на 20,5 км^2, а объем – на 3,1 км^3.

3. 1949–1962 гг. (14 лет) – период интенсивного спуска. За этот период уровень снизился на 13,0 м (0,93 м в год), площадь уменьшилась на 111,5 км^2, а объем – на 16,4 км^3.

4. 1963–1981 гг. (19 лет) – период замедленного понижения уровня. За это время уровень снизился на 2,65 м (0,14 м в год), площадь уменьшилась на 37,0 км^2, а объем – на 4,7 км^3.

5.[1] С 1982 г. до конца 1980-х гг. (после переброски р. Арпа) – период стабилизации уровня. К началу этого периода уровень снизился на 18,8 м, площадь уменьшилась на 172 км^2 (12,2 %), а объем – на 24,6 км^3 (на 42,2 %).

Как видно из таблиц 60, 61 и рисунков 49–52, самые серьезные морфометрические изменения произошли на третьем этапе (величина изменений в 4–5 раз больше, чем на остальных этапах). Особенно четко этапность выражена в динамике отношения V_1/V_2.

Если на первом этапе из озера ежегодно выпускалось 0,07 % воды от общего объема, на втором и четвертом 0,7 %, то на третьем этапе ежегодно выпускалось 3 %, то есть спуск происходил в 43,0 раза интенсивнее, чем на первом, и в 4,3 раза интенсивнее, чем на втором и четвертом этапах (рис. 50).

С гидроэкологической точки зрения в эвтрофировании водоемов большое значение имеет скорость преобразования дна как одного из активных компонентов в системе обмена «вода – дно». Поэтому была рассчитана годовая величина обнажившегося дна (ширина и площадь) Севана и его частей (МС и БС) в процессе искусственного понижения уровня по формуле:

$$O_д = \frac{H}{Sin\alpha},$$

где $O_д$ – ширина обнаженного дна по всей акватории озера, м; H – величина понижения уровня озера в расчетном году, м; α – угол наклона дна озера при данном горизонте (средняя крутизна ската) [Киреев, 1933].

[1] По средним скоростям спуска выделенные периоды достоверно отличаются друг от друга (доверительная вероятность P > 0,99).

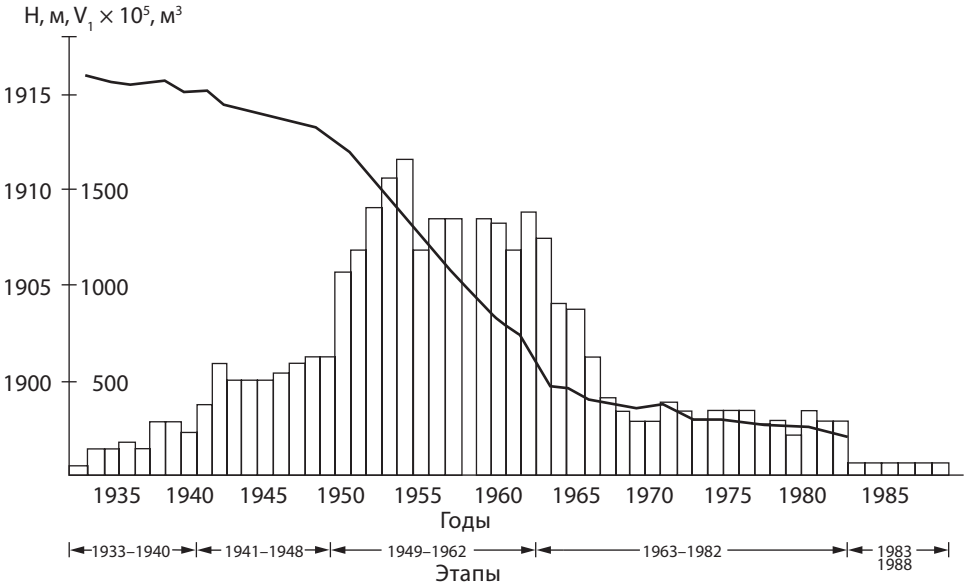


Рис. 49. Ежегодные отметки уровня Севана (H) и попуски воды (V) за 1932–1988 гг.

Fig. 49. Annual Lake Sevan water level marks (benchmarks) (H) and water discharges (V) for the period of 1932–1988

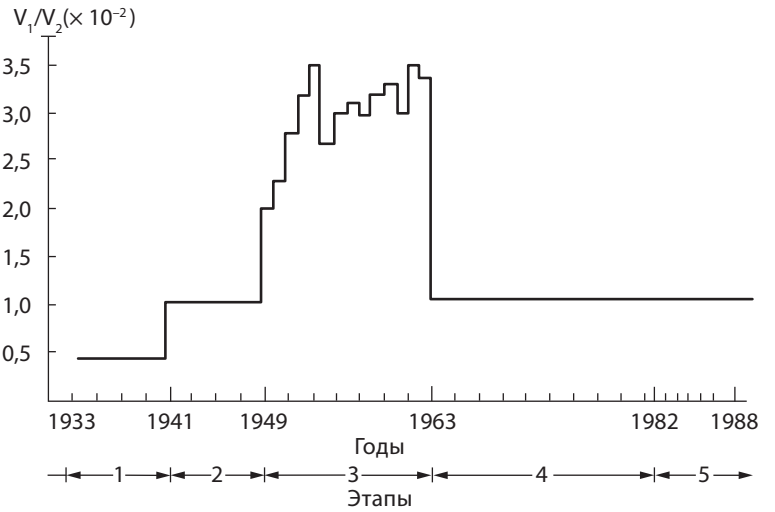


Рис. 50. Отношение (V_1/V_2) объема вод, спускаемого за год (V_1), к объему Севана в текущем году (V_2)

Fig. 50. Ratio (V_1/V_2) of the volume of waters discharged per year (V_1) to the volume of Lake Sevan per current year (V_2)

Выше было показано, что по орографическим и геологическим особенностям бассейн озера Севан разделяется на две существенно разные области:

1. Юго-западную и южную;

2. Северо-восточную и северную (рис. 9).

Довольно сильно отличается также средний угол склонов этих частей бассейна: 7–13° и 20–25° соответственно (рис. 11).

В районе от с. Шишкая (рис. 8, 53а, б) Севанского хребта до с. Цовагюх Арегунийского хребта уклон склонов увеличивается от 30° до 45°. Указанные уклоны соответствующих горных массивов продолжаются вглубь озера, что видно из гипсографических кривых озера Севан (рис. 54а, б) [Киреев, 1933].

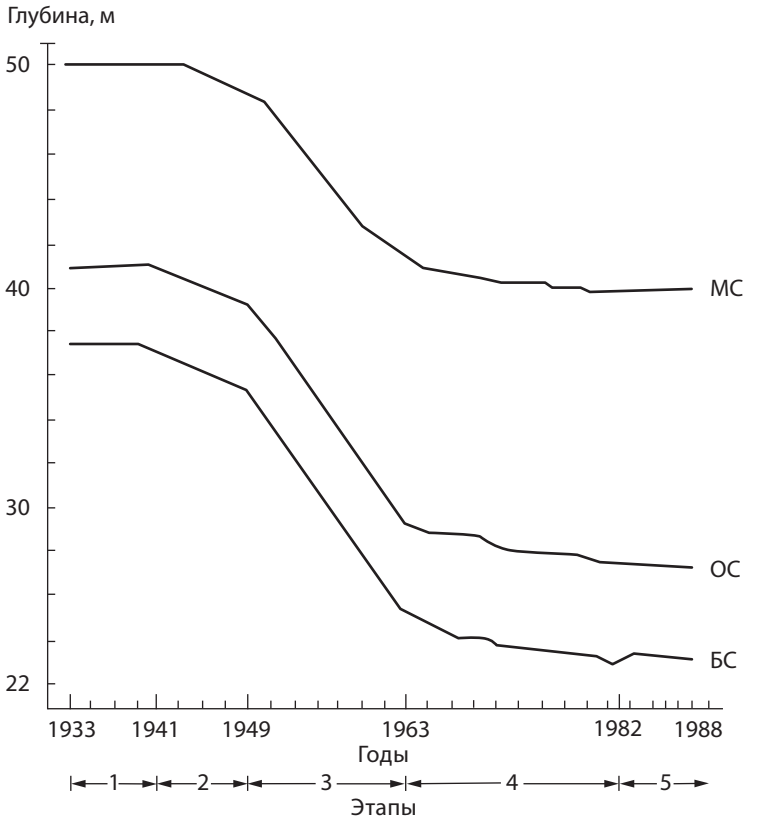


Рис. 51. Изменение средней глубины озера Севан (ОС) и его частей (Малого (МС) и Большого (БС) Севана) в отдельные этапы понижения уровня на 18,8 м

Fig. 51. Change of mean depth of Lake Sevan (OC) and its parts (Minor Sevan (MC) and Major Sevan (БС)) during some stages of water level decrease by 18.8 m

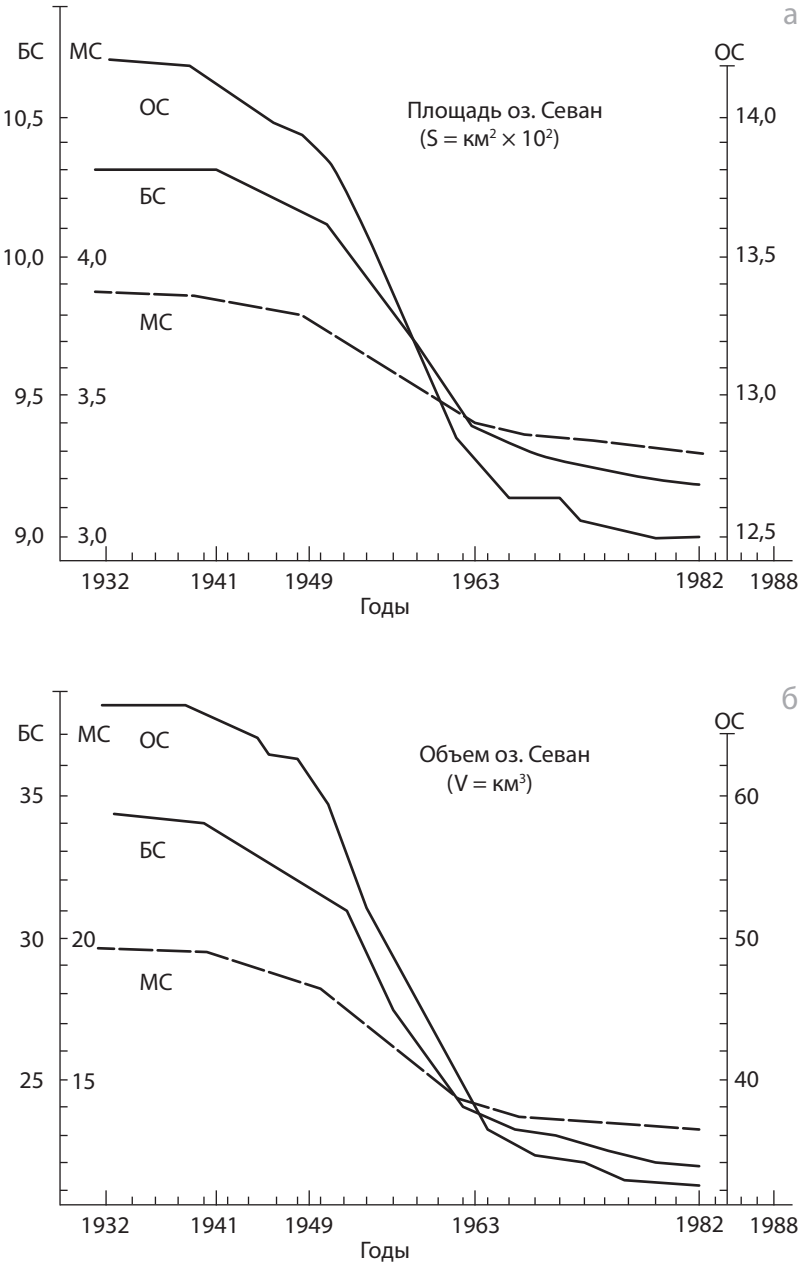


Рис. 52. Изменение площади (а) и объема (б) озера Севан (ОС) и его частей – Малого (МС) и Большого (БС) Севана

Fig. 52. Change in the total area (а) and volume (б) of Lake Sevan (ОС) and its parts (Minor Sevan (МС) and Major Sevan (БС))

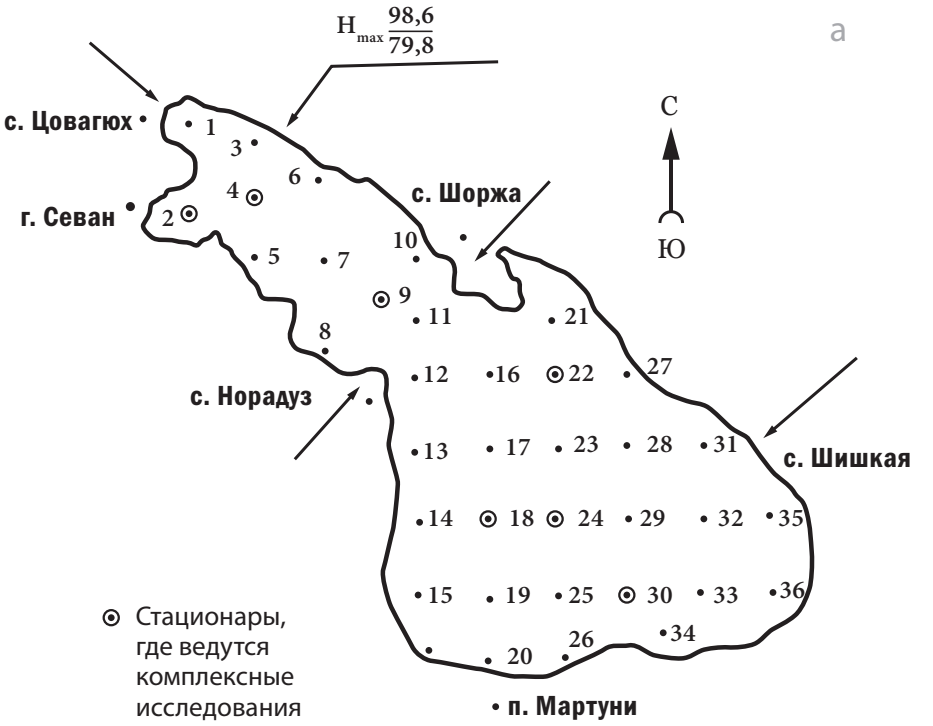


Рис. 53. Распределение станций гидроэкологических исследований СГБС на озере Севан (а), вертикальный разрез озера Севан по длинной оси (б)

Fig. 53. Distribution of stations of hydro-ecological studies in Lake Sevan (a); Vertical profile (cut) of Lake Sevan along the long axis (б)

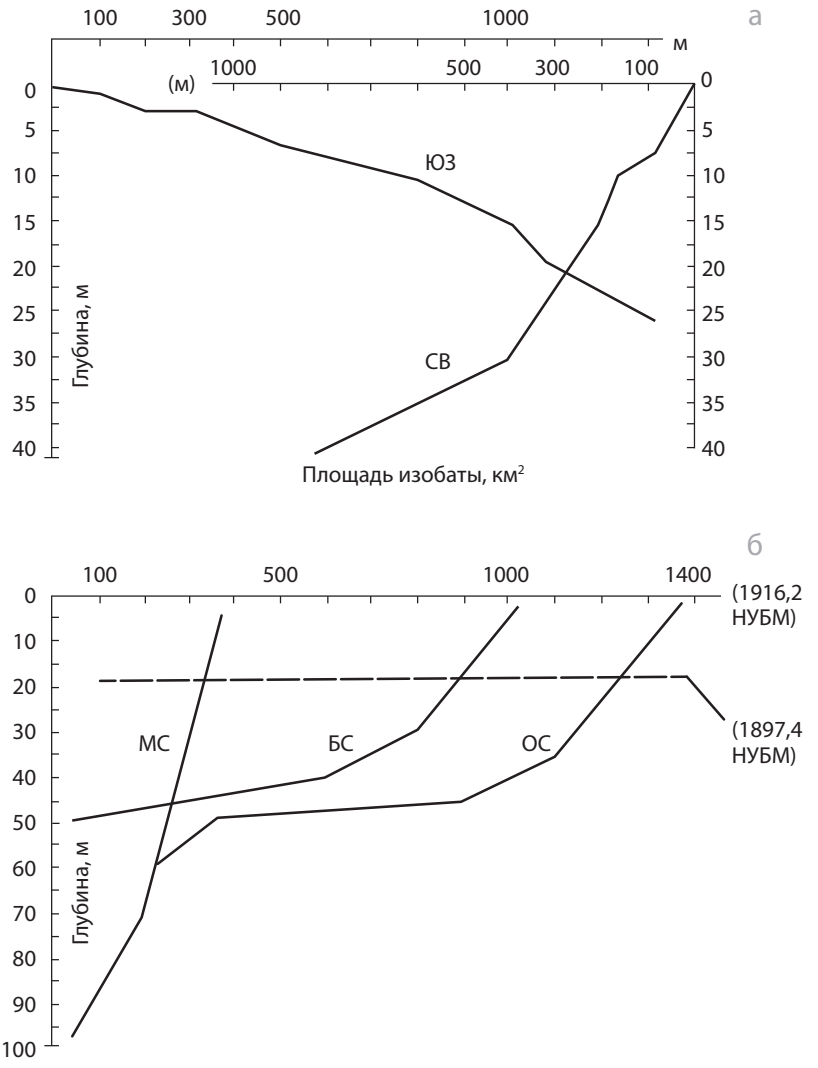


Рис. 54. Усредненный профиль дна юго-западного (ЮЗ) и северо-восточного (СВ) берегов Севана (а); гипсографическая кривая озера [Киреев, 1933] (б)

Fig. 54. Averaged bottom profile of Lake Sevan south-western (ЮЗ) and north-eastern (СВ) shores (a); Hypsographic curve of the lake [Kireev, 1933] (б)

Учитывая сказанное, для более точного расчета ширины обнаженного дна за каждый год в процессе снижения уровня по данным, приведенным на рисунке 54а, были рассчитаны коэффициенты, определяющие, на сколько метров будет обнажаться юго-западный или северо-восточный берег при понижении уровня озера на каждый следующий метр (табл. 62, 63).

Расчетные величины ширины (м), длины (км) и площади (км^2) обнажившегося дна для каждого этапа понижения уровня озера Севан на 18,8 м приводятся в таблицах 62, 63. Величины указанных показателей для третьего этапа (1949–1962) специально приводятся по каждому году в отдельности, так как основные морфометрические и гидроэкологические показатели озера изменились именно на этом этапе (рис. 55).

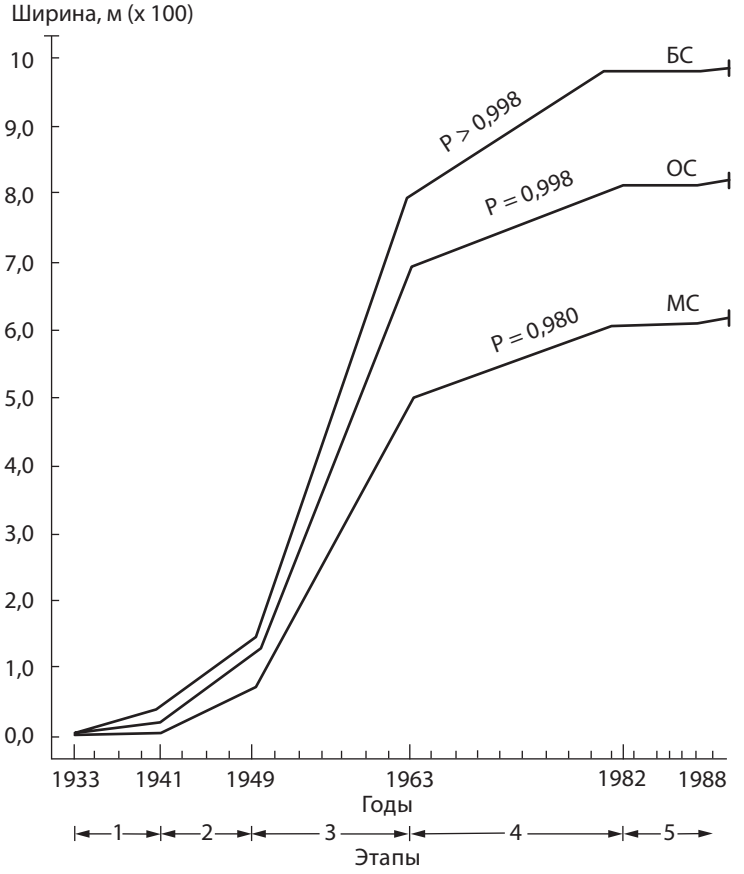


Рис. 55. Ширина (м) освободившихся площадей Малого (МС), Большого (БС) и озера Севан в целом (ОС) на отдельных этапах понижения уровня

Fig. 55. Width (m) of water-retreated areas of Minor Sevan (MC), Major Sevan (БС), and Lake Sevan on the whole (OC) at some stages of water level decrease

Как видно из рисунка 55 и таблиц 62, 63, в период 1933–1982 гг. берега Малого Севана обнажились на 974 м (ПБ – 813 м; ЛБ – 161 м), а Большого Севана – на 1808 м (ПБ – 1559 м; ЛБ – 249 м). Только на третьем этапе (1949–1962), в период интенсивного спуска, в Малом Севане обнажилась полоса дна шириной 640 м (ПБ – 526,7 м; ЛБ – 112,8 м), а в Большом Севане – 1279 м (ПБ – 1106 м; ЛБ – 173 м).

Таблица 60. Изменение средней глубины и длины береговой линии озера Севан и его частей в отдельные этапы искусственного понижения его уровня на 18,8 м

Морфометрические показатели			Малый Севан			Большой Севан			Озеро Севан			Отметки уровня (НУБМ)
				Уменьшение			Уменьшение			Уменьшение		
			Абсол.	Абсол.	%	Абсол.	Абсол.	%	Абсол.	Абсол.	%	
Средняя глубина, м	До спуска (1932 г.)		50,9	0,0	0,0	37,8	0,0	0,0	41,3	0,0	0,0	1916,2
	Этап спуска, м	1 – 0,65	50,7	0,2	0,4	37,5	0,3	0,8	41,1	0,2	0,5	1915,55
		2 – 3,15	49,2	1,5	3,4	35,8	1,7	5,3	39,4	1,7	4,7	1913,05
		3 – 16,15	41,7	7,5	18,1	25,8	10,0	31,8	30,1	9,3	27,2	1900,05
		4 – 18,80	39,5	2,2	22,4	22,8	3,0	39,7	27,2	2,9	34,2	1897,4
	Итого 1981 г.		**39,5**	**11,4**	**22,4**	**22,8**	**15,0**	**39,7**	**27,2**	**14,1**	**34,2**	**1897,4**
Длина береговой линии, км	До спуска (1932 г.)		122,0	0,0	100	147,0	0,0	0,0	269,0	0,0	0,0	
	Этап спуска, м	1 – 0,65	122,0	0,0	0,0	161,0	+14	+9,5	283,0	+14,0	+5,2	
		2 – 3,15	123,0	1,0	+0,8	144,0	17,0	2,1	267,0	–16,0	0,8	
		3 – 16,15	100,0	23,0	18,0	141,0	3,0	4,1	241,0	–26,0	10,5	
		4 – 18,80	94,0	6,0	34,0	135,0	6,0	8,2	229,0	–12,0	15,0	
	Итого 1981 г.		**94,0**	**28,0**	**34,0**	**135,0**	**12,0**	**8,2**	**229,0**	**–40,0**	**15,0**	

Таблица 61. Изменение уровня, объема воды и площади зеркала озера Севан и его частей в отдельные этапы искусственного понижения его уровня на 18,8 м

Морфометрические показатели			Малый Севан			Большой Севан			Озеро Севан		
				Уменьшение			Уменьшение			Уменьшение	
			Абсол.	Абсол.	%	Абсол.	Абсол.	%	Абсол.	Абсол.	%
Площадь, км^2	До спуска (1932 г.)		383,0	0,0	100	1032,4	0,0	100	1416,0	0,0	0,0
	Этап спуска, м	1 – 0,65	383,0	0,6	0,6	1030,0	2,4	0,24	1413,0	3,0	0,22
		2 – 3,15	376,0	7,0	2,0	1016,5	13,5	1,54	1392,5	20,0	1,66
		3 – 16,15	339,5	36,5	11,5	941,5	75,0	8,80	1281,0	111,5	9,34
		4 – 18,80	327,6	11,9	14,6	916,4	25,1	11,2	1244,0	37,0	12,15
	Итого 1981 г.		**327,6**	**56,0**	**14,6**	**916,4**	**116,0**	**11,2**	**1244,0**	**172,0**	**12,2**
Объем, км^3	До спуска (1932 г.)		19,5	0,0	100	38,9	0,0	100	58,4	0,0	100
	Этап спуска, м	1 – 0,65	19,4	0,1	0,6	38,0	0,3	0,8	58,0	0,4	0,7
		2 – 3,15	18,5	0,9	5,2	36,4	2,2	6,5	54,9	3,1	6,0
		3 – 16,15	14,2	4,3	27,2	24,3	12,1	37,6	38,5	16,4	34,1
		4 – 18,80	12,9	1,3	33,9	20,9	3,4	46,3	33,8	4,7	42,2
	Итого 1981 г.		**12,9**	**6,3**	**33,9**	**20,9**	**17,9**	**46,3**	**33,8**	**24,6**	**42,2**

Таблица 62. Ширина (м), длина (км) и площадь (км^2) обнажившегося дна Малого Севана на каждом этапе понижения уровня озера

Этап	Год	Уровень, м		Малый Севан					
				ПБ	60 %		ЛБ	40 %	
		за период	всего	ширина, м	длина изобаты, км	S, км^2	ширина, м	длина изобаты, км	S, км^2
1	1933–1940	0,65	0,65	33,85	73	2,47	3,34	49	0,16
	Средн. за период	0,08	–	5,64	–	0,31	0,56	–	0,02
2	1941–1948	2,50	3,15	94,5	70	6,60	9,2	50	0,46
	Средн. за период	0,3	–	13,63	–	1,02	1,53	–	0,08
3	1949	0,68	3,83	36,8	69	2,54	3,6	46	0,17
	1950	0,71	4,54	31,9	67	2,14	3,1	45	0,14
	1951	0,94	5,48	45,5	65	2,96	5,1	41	0,21
	1952	1,27	6,76	57,5	61	3,51	7,1	40	0,28
	1953	1,31	8,05	43,0	59	2,50	9,2	40	0,37
	1954	0,67	8,73	32,2	57	1,8	5,2	38	0,19
	1955	0,98	9,71	40,8	59	2,41	7,2	40	0,29
3	1956	0,83	10,54	35,3	59	2,08	6,7	39	0,26
	1957	0,75	11,29	22,0	59	1,30	8,8	39	0,34
	1958	0,96	12,25	20,8	59	1,20	11,2	39	0,44
	1959	0,80	13,05	42,3	59	2,50	8,1	38	0,31
	1960	0,61	13,66	38,7	59	2,28	8,0	39	0,31
	1961	1,31	14,97	33,4	60	2,00	14,2	40	0,57
	1962	1,18	16,15	46,5	58	2,70	15,3	39	0,60
	Итого	13,0	16,15	526,7	–	31,9	112,8	–	4,48
	Средн. за период	–	–	37,62	–	2,28	8,1	–	0,32
4	1963–1982	2,65	18,8	158,1	56	8,85	36,1	37	1,34
	Средн. за период	–	–	13,2	–	0,44	3,0	–	0,97
Итого	**1933–1982**	**–**	**18,8**	**813,2**	**–**	**49,8**	**161,4**	**–**	**6,44**

Таблица 63. Ширина (м), длина (км) и площадь (км²) обнажившегося дна Большого Севана на каждом этапе понижения уровня озера

Этап	Год	Уровень, м		Большой Севан					
		за период	всего	ПБ	70 %		ЛБ	30 %	
				ширина, м	длина изобаты, км	S, км²	ширина, м	длина изобаты, км	S, км²
1	1933–1940	0,65	0,65	58,2	99	5,76	5,76	43	0,25
	Средн. за период	0,08	–	9,7	–	0,72	0,96	–	0,03
2	1941–1948	2,50	3,15	179,1	99	17,73	20,3	43	0,87
	Средн. за период	0,3	–	22,4	–	2,22	2,54	–	0,11
3	1949	0,68	3,83	48,4	99	4,79	4,8	42	0,20
	1950	0,71	4,54	62,4	100	6,24	6,2	42	0,26
	1951	0,94	5,48	64,0	101	6,34	7,0	43	0,30
	1952	1,27	6,75	119,0	99	11,78	14,7	42	0,62
	1953	1,31	8,06	120,0	99	11,88	16,4	42	0,69
	1954	0,67	8,73	59,2	99	5,15	9,6	43	0,41
	1955	0,98	9,71	80,4	99	7,96	4,2	43	0,18
	1956	0,83	10,54	86,0	100	8,6	16,4	43	0,71
	1957	0,75	11,29	67,4	99	6,67	12,8	43	0,55
	1958	0,96	12,25	86,2	100	8,62	16,4	43	0,71
	1959	0,80	13,05	68,9	99	6,67	13,1	43	0,56
	1960	0,61	13,66	54,1	98	5,30	11,1	42	0,47
	1961	1,31	14,97	100,6	99	9,96	20,6	43	0,89
	1962	1,18	16,15	89,5	96	8,59	19,7	41	0,81
	Итого	13,0	16,15	1106,1	–	108,5	173,0	–	7,36
	Средн. за период	–	–	79,0	–	7,75	12,4	–	0,53
4	1963–1982	2,65	18,8	215,5	94	20,26	49,5	41	2,03
	Средн. за период	–	–	18,0	–	1,01	4,1	–	0,10
Итого	**1933–1982**	**–**	**18,8**	**1559,0**	**–**	**152,3**	**248,6**	**–**	**10,51**

Изменение гидрологического режима

Водный баланс

Водный баланс озера Севан впервые был исследован В.К. Давыдовым [1938], в дальнейшем его изучали Б.Д. Зайков [1950], В.П. Валесян [1955], А.М. Мхитарян и др. [1961]. С 1980 по 1985 г. союзными и республиканскими научными учреждениями были организованы исследования с целью определения и уточнения элементов водного баланса озера в новых условиях после понижения уровня воды на 18,8 м [Айнбунд, 1986].

Водный баланс озера Севан на различных этапах искусственных попусков его вод приведен в таблице 64. Как видно, приходная часть баланса состоит в основном из притоков речных вод и атмосферных осадков. Расход воды в естественных условиях (1932 г., до спуска уровня) происходил главным образом за счет испарения (табл. 64), так как естественный сток из озера был невелик. Именно это, как указывалось в Главе 1, побудило создать проект использования вековых запасов вод озера.

В водном балансе озера (табл. 64) также ясно выделяется третий этап (1949–1962) искусственного понижения уровня, где попуски имеют такой же порядок величин, как и испарение, и представляют основную расходную составляющую водного баланса.

В естественных условиях (до 1933 г.) озеро имело годовой ход изменения уровня воды (рис. 56). Естественное накопление воды в озерной котловине достигало максимума к июлю. Это было обусловлено тем, что максимум стока и осадков приходился на период с апреля по июль (рис. 17, 20, 21). В то же время низкая температура воды этого периода года замедляла процесс испарения. С середины лета и до наступления зимы уровень воды начинал падать. Годовая амплитуда колебаний уровня воды в естественных условиях составляла 30–60 см (рис. 56).

В период искусственного понижения уровня озера (второй и третий этапы; рис. 49, табл. 60, 61) естественный режим уровня был нарушен. Он зависел от режима попусков воды из озера и не имел выраженного годового хода.

Начиная с 1963 г. попуски из озера значительно сократились (4 этап; рис. 49, табл. 60, 61). В связи с этим частично восстановился нормальный годовой ход уровня озера.

Начиная с 1982 г., после переброски вод р. Арпы и в дальнейшем р. Воротан при одновременном сокращении попусков, уровень озера начал постепенно повышаться (1981–1988 годы, см. табл. 64) [Айнбунд, 1986].

В Севане, как и в других крупных водоемах, также наблюдаются выраженные многолетние циклические колебания уровня (рис. 56). Б.И. Бек-Мармарчев [1951] на основании визуальных и инструментальных наблюдений установил отметки уровня Севана за 1814–1946 гг. Колебание уровня воды в этот период достигало 3 м (рис. 56).

Если же обратиться к историческому прошлому озера, то за истекшие тысячелетия размах колебаний уровня воды достигал более 10 метров, о чем свидетельствуют археологические находки развалин населенных пунктов после понижения уровня озера.

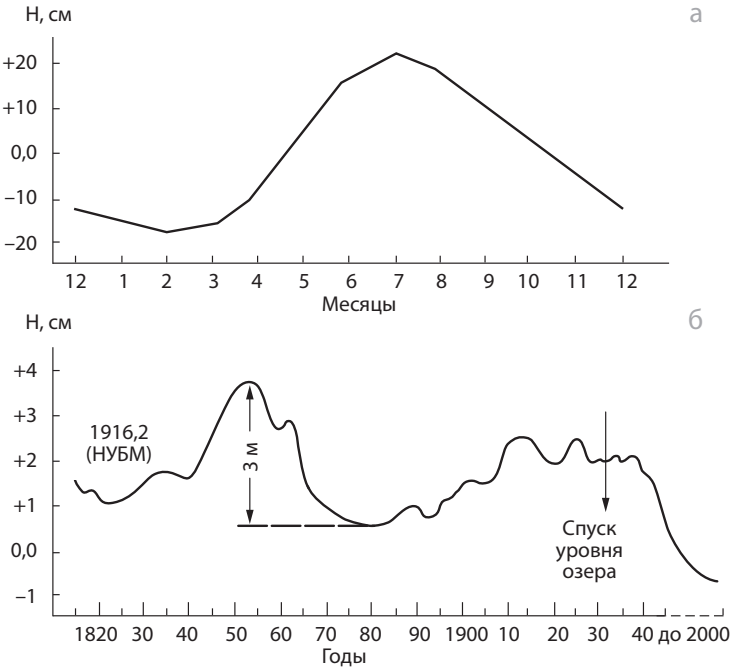


Рис. 56. Динамика естественных сезонных колебаний уровня озера Севан (1928–1940 гг.). Динамика вековых колебаний уровня озера Севан [Бек-Мармарчев, 1951]

Fig. 56. Dynamics of Lake Sevan water level natural seasonal fluctuations (1928–1940). Dynamics of Lake Sevan water level age-long fluctuations [Bek-Marmarchev, 1951]

Важным параметром водных экосистем является отношение объема водной массы к объему годового стока, указывающее, за сколько лет обменивается водная масса озера [Григорьев, 1958; 1959]. В нестационарных условиях снижения уровня, по нашему мнению, наиболее адекватное представление о внешнем водообмене Севана дает средний показатель условного водообмена (СУВ), учитывающий приходную и расходную части водного баланса озера:

$$\text{СУВ} = \frac{V_n + V_p}{2V_{оз}} \quad ,$$

где СУВ – средний условный водообмен; V_n и V_p – соответственно объемы приходной и расходной частей водного баланса; $V_{оз}$ – средний объем озера за расчетный период [Знаменский, 1981; Литвинов, Цельмович, 1982]. Наряду с СУВ используется обратная величина, среднее время водообмена.

Расчеты по формуле (см. с. 171) показали, что время водообмена до понижения уровня составляло 44,3 года (СУВ = 0,0225); на первом этапе понижения (1933–1940 гг.) оно снизилось до 40,7 лет (0,0246); на втором этапе (1941–1948 гг.) – до 37,5 лет (0,027); а на третьем (1949–1962 гг.) упало до 22,0 лет (0,05). В период с 1982 г. оно выросло до 25,0 лет (0,04).

Таблица 64. Водный баланс ($м^3 \times 10^6$) озера Севан на отдельных этапах искусственного понижения уровня (1932 г. – среднее за 1927–1932 гг.; 1940, 1941, 1948 и 1949 гг. по [Мхитарян и др., 1961]; 1962, 1963, 1981–1983 гг. по [Айнбунд, 1986])

Этап	Год	Приход				Расход				Изменение объема
		поверх. приток	осадки на акватории озера	подземный приток	итого	сток	испарение	отток (подзем.)	итого	
1	1932	810	550	–	1360	43	1150	84	1277	83
	1940	753	542	40	1335	376	1062	76	1541	–179
2	1941	690	294	42	1026	620	1114	69	1803	–777
	1948	816	405	50	1271	658	1055	48	1761	–490
3	1949	685	349	50	1084	1097	1057	46	2200	–1116
	1962	627	503	120	1250	1320	1220	35	2575	–1325
4	1963	971	686	120	1777	970	1160	35	2165	–388
	1981	787	406	120	1313	421	981	35	1437	–124
5	После 1981 г. и далее	870	459	97	1426	234	1072	17	1321	103

Температурный режим

Термический режим озера Севан, который определяется его высотным положением, значительной глубиной и достаточно интенсивным вертикальным перемешиванием, изучен достаточно подробно [Марков, 1911; Фортунатов, Инясевский, 1927; Давыдов, 1934; Айнбунд, 1959, 1961, 1964; Гезалян, 1979, 1983а и др.].

Для более детального понимания закономерности формирования термического режима озера как важного экологического фактора для гидробионтов и физико-химических процессов, протекающих в озере, нами с 1974 г. была разработана новая схема изучения термического режима озера Севан (рис. 53а). По этой схеме измерения температуры проводились на 36 станциях.

Понижение уровня озера на 18,8 м и уменьшение объема водной массы на 42,2 % привело к заметным изменениям температурного режима, что подтверждается анализом среднемесячных величин температуры воды Малого и Большого Севана (рис. 57), усредненных за 1982–1985 гг. (период стабилизации уровня) по сравнению с доспусковым периодом (1927–1933 гг.).

В 1980-е гг. наблюдается более быстрое нагревание в весенне-летний период и более быстрое охлаждение осенью. Нагревание Малого и Большого Севана до понижения начиналось в мае (3,5–4,0 °С) и завершалось в августе (18–19 °С), а в указанный выше период начиналось в конце апреля (4,0–4,5 °С) и завершалось в конце июля (19–20 °С), (рис. 57, 58). Видно, что смещение периода нагревания сопровождается его ускорением. Наибольшего прогрева (17–20 °С) вода в поверхностном слое озера достигает в июле – августе. В отдельные годы вода прогревается до 24 °С. Соответственно увеличилась годовая амплитуда колебаний температуры поверхностных слоев воды. В период стабилизации уровня среднемесячные температуры во время гидрологической весны и лета на 0,5–2,0 °С выше, а осенью и зимой на 0,3–0,8 °С ниже, чем в естественном состоянии (рис. 58).

В придонных слоях Малого Севана в настоящее время средняя температура воды составляет 4,2–5,0 °С, а в Большом Севане 8–12 °С, в то время как в естественных условиях температура воды соответственно понижалась до 3–4 °С (МС) и 4–5 °С (БС) (рис. 58).

Теплосодержание озера в настоящее время уменьшилось до 500×10^{12} ккал (с 700×10^{12} ккал до понижения уровня), поэтому оно стало чаще покрываться сплошным льдом толщиной около 20–30 см.

Суточный ход температуры воды в поверхностном слое незначителен, его амплитуда не превышает 1,5 °С и очень редко 3–4 °С. Такое явление связано с интенсивным теплообменом между слоями в результате частого волнения (более подробно обсуждается ниже).

В настоящее время в летний период температура воды в прибрежной зоне выше, чем в центральной части озера. При этом почти вся пелагиаль Большого Севана в конце лета прогревается до дна, а в Малом Севане на глубине 25–30 м наблюдается скачок температуры. В период осеннего охлаждения температура воды в мелководной прибрежной зоне благодаря высокой теплоактивности ниже, чем в центральной части озера.

Одной из характерных черт термического режима озера Севан является образование летом в центральных частях Малого и Большого Севана «купола» холодных вод [Давыдов, 1934; Айнбунд, 1964, 1966]. Следует заметить, что куполообразное поднятие холодных глубинных вод наблюдается во многих крупных озерах, например в Байкале [Россолимо, 1957] и Ладожском озере [Тихомиров, 1968].

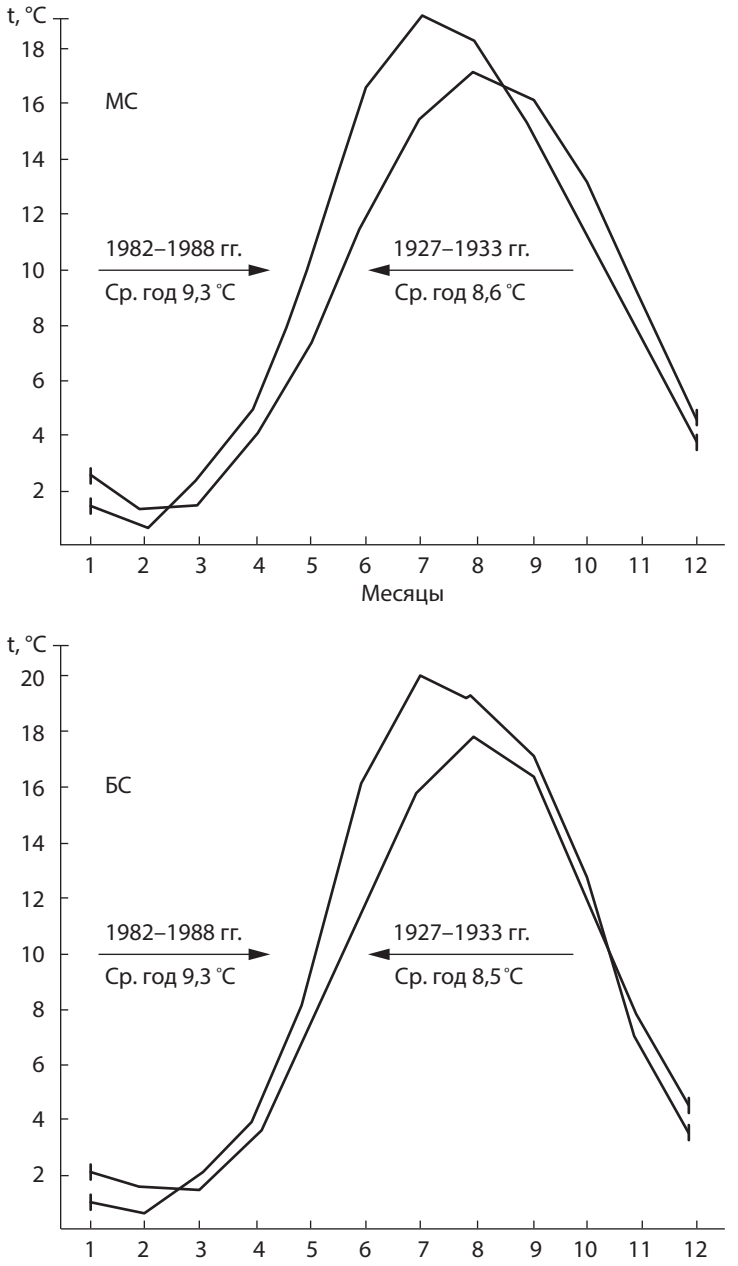


Рис. 57. Среднемесячная температура поверхности воды Малого (МС) и Большого (БС) Севана в доспусковой период (1927–1933 гг.) и в период стабилизации уровня (1982–1985 гг.) (усредненные значения за указанные годы)

Fig. 57. Mean monthly water surface temperature in Minor Sevan (MC) and Major Sevan (БС) in the pre-draining period (1927–1933) and during the water level stabilization period (1982–1985) (averaged values for the years indicated)

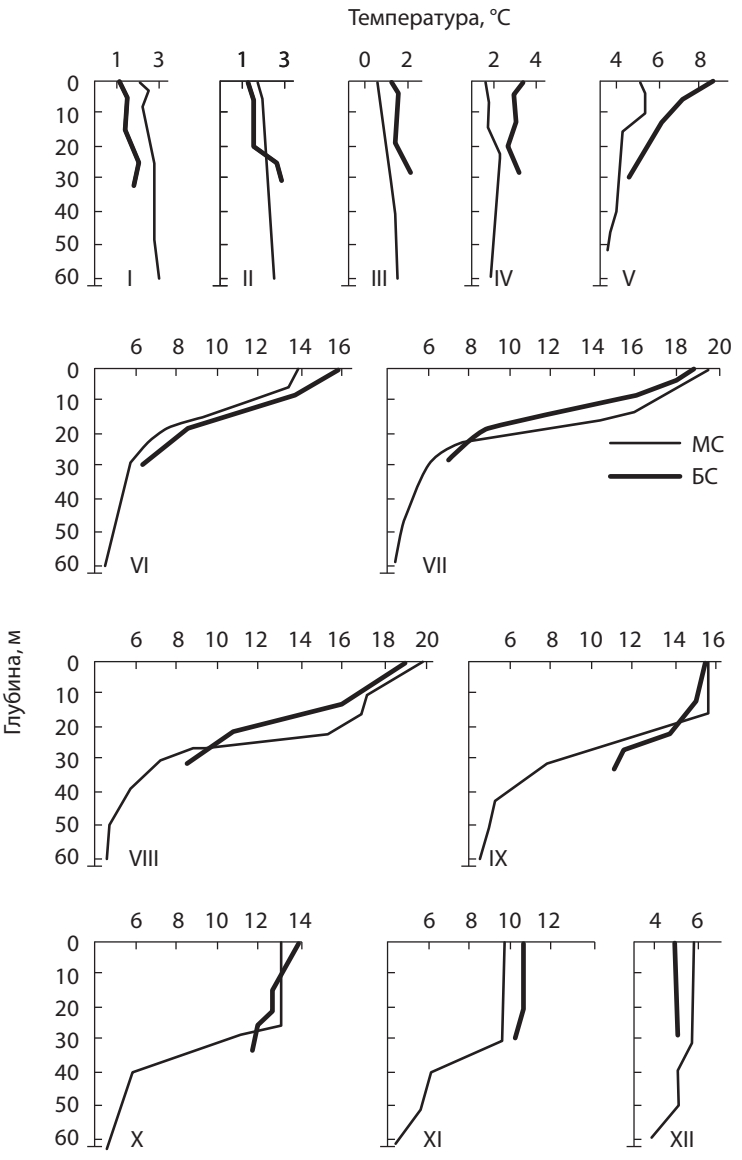


Рис. 58. Вертикальное распределение среднемесячной температуры, характерной для Малого (МС) и Большого (БС) Севана

Fig. 58. Vertical distribution of mean monthly temperature typical of Minor Sevan (MC) and Major Sevan (БС)

В Севане гиполимнион начинает формироваться весной и достигает наибольшего развития летом. Осенью термоклин погружается в придонные слои и к зиме исчезает.

Расчетные оценки изменения площадей поверхности и дна, объема воды эпилимниона и гиполимниона и их формирования в течение года в Малом и Большом Севане (рис. 59) при понижении уровня озера на каждые 2 м (до 18 м) показывают:

В Малом Севане

а) в процессе понижения уровня озера до 18,8 м объем эпилимниона уменьшается на 15–20 %, на столько же уменьшается площадь его поверхности, а площадь нижней поверхности фактически не изменяется (рис. 59); это означает, что эпилимнион в процессе понижения уровня смещается вниз без изменения его толщины.

б) объем гиполимниона уменьшается на 55–60 %, а площадь верхней и нижней (донной) поверхности – на 20 % (рис. 59).

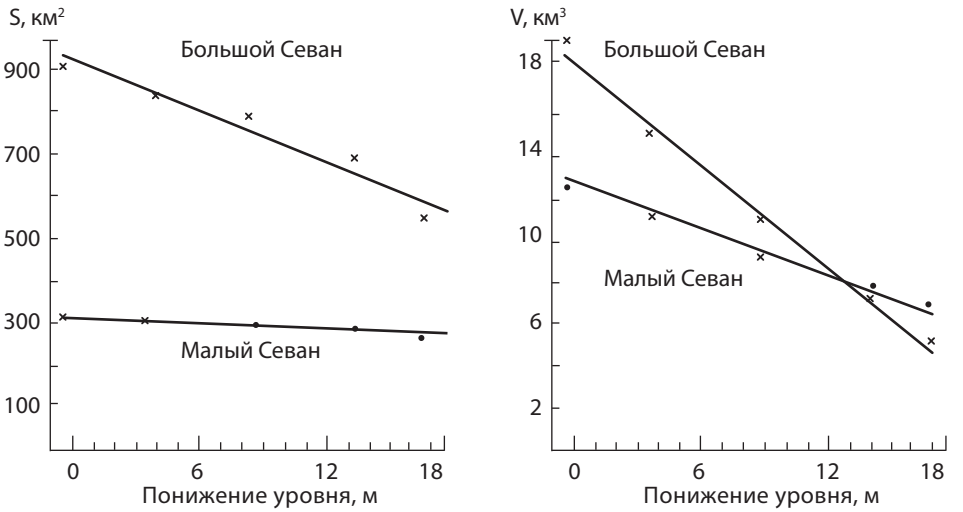


Рис. 59. Зависимость площади, занятой гиполимнионом (S), и объема гиполимниона (V) от понижения уровня озера Севан (среднее за июнь – август)

Fig. 59. Dependency of the total area occupied by hypolimnion (S) and the volume of hypolimnion (V) on Lake Sevan water level decrease (mean for June – August)

В Большом Севане

а) в процессе понижения уровня озера до 18,8 м объем эпилимниона уменьшается на 15–20 %, площадь его поверхности – на 10–15 %, а площадь нижней поверхности увеличивается на 170 % (280 %), следовательно, как и в Малом Севане, происходит смещение эпилимниона Большого Севана вниз ко дну с одновременным увеличением площади дна, соприкасающейся с эпилимнионом.

б) гиполимнион уменьшается по всем параметрам: объем на 80–90 %, площадь поверхности дна на 40–50 % (рис. 59).

Таким образом, в период прямой статификации толщина эпилимниона претерпевает примерно такие же изменения, как и в естественных условиях (до спуска уровня озера). В настоящее время резко изменен характер динамики гиполимниона, который, образовавшись в мае – июне, в течение лета быстро уменьшается как по площади дна (нижней поверхности), так и по объему (рис. 59). При этом изменения в Большом Севане значительнее, чем в Малом. Глубина залегания термоклина в результате понижения уровня озера фактически не изменилась и достигает 30–40 м осенью к сроку полного перемешивания. В сентябре – октябре слой температурного скачка в центральных районах Большого Севана достигает дна, вследствие чего сроки наступления полного перемешивания сократились на 1–2 месяца по сравнению с доспусковым периодом, а температура воды при осенней гомотермии повысились в Малом Севане на 1–2 °С, в Большом – на 3–5 °С.

Гиполимнион в Малом Севане практически исчезает в октябре – ноябре, в Большом Севане – в сентябре – октябре, в то время как в естественных условиях он сохранялся до декабря в Малом и до ноября в Большом Севане, с размерами, большими, чем в период стабилизации в июне. Сокращение площади и объема гиполимниона в современных условиях значительно ускорилось вследствие интенсификации теплообмена как между верхними и нижними слоями воды и возрастанием отношения объема эпилимниона к объему гиполимниона, так и между центральными и перифирийными районами озера за счет относительного увеличения площадей мелководий.

Как было сказано, наибольшим изменениям вследствие понижения уровня озера подвергся Большой Севан. Из таблицы 65 видно, что уже в конце лета большая часть водных масс Большого Севана подвергается полному перемешиванию (до дна). Значительно возросло абсолютное количество водных масс, вовлекаемых в циркуляцию.

Таблица 65. Динамика площади и объема периферийной зоны Большого Севана с постоянно перемешивающимися водными массами в доспусковой период и в 1980-е гг.

Параметр	Период	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
S, км^2	доспусковой	130	170	230	300
	довременный	410	560	690	310
V, км^3	доспусковой	3,0	4,6	7,0	9,8
	современный	10,4	13,4	16,0	18,4

В заключение можно сказать, что понижение уровня озера на 18,8 м привело к соответственному смещению вниз эпилимниона и гиполимниона Малого Севана с уменьшением объемов эпилимниона на 15–20 % и гиполимниона на 50–60 % (рис. 59).

В Большом Севане объем эпилимниона сократился на 20–25 %, а гиполимниона – на 90–95 % (рис. 59). Здесь эпилимнион также смещается вниз, но в основном за счет значительного уменьшения (фактически до полного исчезновения) гиполимниона. В таких условиях эпилимнион Большого Севана захватывает большие площади дна с последующим вовлечением в активный круговорот донных отложений, захоронявшихся веками и изолированных гиполимнионом. Это сыграло важную роль в изменении гидрохимического режима (особенно режима биогенных элементов) озера в целом и увеличило его зависимость (особенного Большого Севана) от водосборного бассейна и климатических условий.

Течения и водообмен между Малым и Большим Севаном

Исследования А.С. Саркисяна, Г.М. Торгомяна [1974], М.А. Акопяна, Г.М. Торгомяна [1980], М.А. Акопяна, Ю.Л. Дёмина [1982], М.М. Айнбунда [1986] показали, что в течение всего года в литоральной части Большого Севана наблюдается циклонический круговорот, захватывающий всю толщу вод (рис. 60). В Малом Севане циклонический круговорот выражен только в весенне-летний период. Скорость течения в озере зимой и весной значительно меньше, чем летом и осенью. В весенне-зимний период наиболее интенсивные течения наблюдаются в южной и западной частях Большого Севана (более 10 см/с на поверхности). В летне-осенний период наиболее активная циркуляция (более 30 см/с) в Большом Севане наблюдается на некотором удалении от берегов и сохраняет свой характер до дна, а глубже 25 м в Большом Севане она чаще всего находится в пределах 4–8 см/с. В Малом Севане циклоническая циркуляция наблюдается в весенне-летний период. В летний период циклонический круговорот формируется начиная с глубины 5 м, а весенний – с поверхности. Хотя уровень озера понизился весьма существенно, характер общей циркуляции вод Севана не претерпел существенных изменений [Айнбунд, 1986].

Водообмен между Малым и Большим Севаном через пролив имеет сезонный характер [Айнбунд, 1986]. Весной скорость течения между этими частями озера неизменна, летом оно становится более сильным и устойчивым. Наиболее значительные скорости (до 25–30 см/с) в верхнем 10-метровом слое близ северного берега пролива. С глубиной скорости этого течения быстро снижаются и в слое на горизонтах 15–20 м становятся минимальными.

Течение из Малого Севана в Большой в поверхностных слоях отмечается преимущественно в южной половине пролива. Однако здесь скорости и устойчивость значительно ниже, чем у северного берега, где течение направлено от Большого Севана к Малому. В связи с понижением уровня значительно сократилось поперечное сечение пролива.

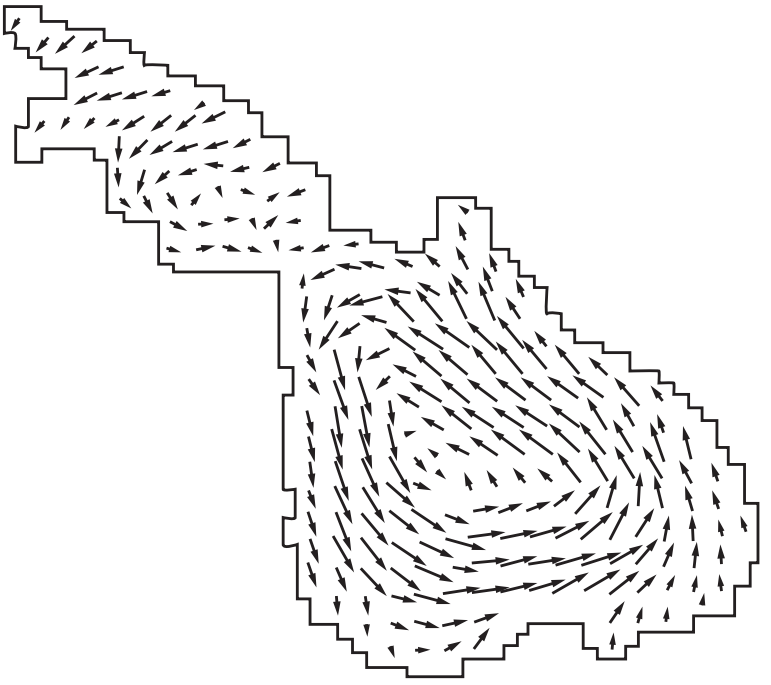


Рис. 60. Направление течений в поверхностном слое озера Севан [Торгомян и др., 1975]
Fig. 60. Direction of currents in Lake Sevan surface layer [Torgomyan et al., 1975]

Вследствие этого течение между двумя частями озера уменьшилось и резко сократилось количество холодных глубинных вод, поступавших до спуска из Малого Севана в Большой, что не могло не повлиять на термический режим Большого Севана [Айнбунд, 1986].

Прозрачность воды

До понижения уровня Севан считался одним из наиболее прозрачных озер мира наряду с Байкалом, Иссык-Кулем и др. Большая прозрачность его вод была обусловлена значительной глубиной, небольшим объемом берегового стока, бедностью аллохтонным и автохтонным органическим веществом.

Оптический режим озера Севан изучен недостаточно. Имеющиеся данные касаются в основном относительной прозрачности (глубины видимости стандартного диска Секки) и цвета, по которым имеется достаточно большой ряд измерений. Стационарные наблюдения за относительной прозрачностью проводились с 1950 г. Армянским республиканским управлением по гидрометеорологии и контролю природной среды (АрмУГКС)

на 17 гидрологических станциях ежемесячно (рис. 11). Для лучшего понимания процессов, протекающих в озере, необходимо было получить по возможности полную характеристику оптических свойств водных масс отдельных районов. Поэтому начиная с 1974 г. Севанская гидробиологическая станция (СГБС) АН Армении вела исследования по относительной прозрачности, а с 1975 г. – по вертикальному ослаблению света, распределению светового поля, альбедо и др. на 36 (рис. 54) и более подробно – на 6 основных станциях озера [Гезалян, 1981, 1983б, 1984; Румянцев, 1983; Мокиевский и др., 1984; Чехин, 1984 и др.].

Динамика среднегодовых величин относительной прозрачности Малого и Большого Севана с 1933 по 1985 гг. показывает, что на первом и втором этапах понижения уровня озера никаких изменений не произошло; в течение третьего этапа величина относительной прозрачности значительно уменьшилась (рис. 61). В 1962 г. (конец этапа) в Малом Севане она уменьшилась в 1,55 (с 13 до 8,4 м), а в Большом – в 1,8 раза (с 12,4 до 7 м).

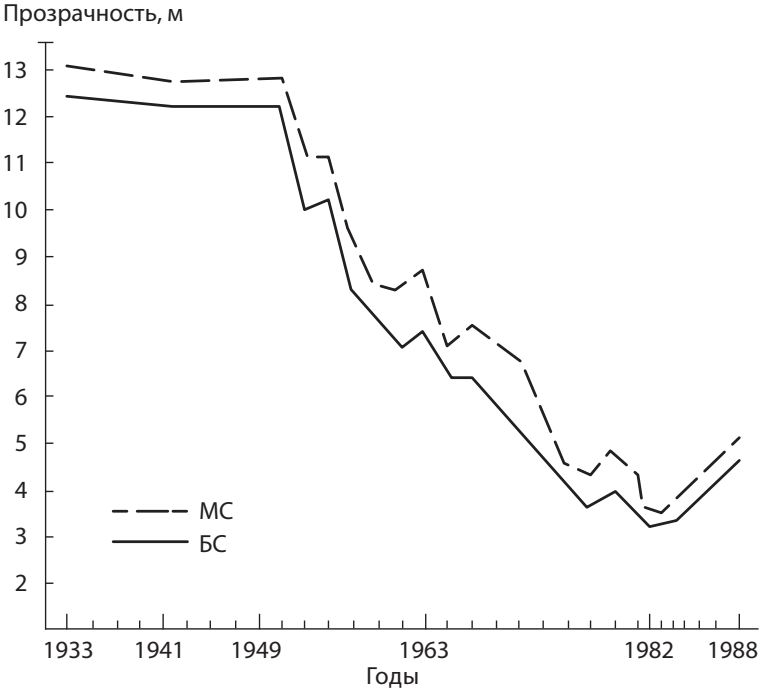


Рис. 61. Средние годовые значения относительной прозрачности Малого (МС) и Большого (БС) Севана на различных этапах понижения уровня озера [Айнбунд, 1986]

Fig. 61. Mean annual values of relative water transparency in Minor Sevan (МС) and Major Sevan (БС) at various stages of lake's water level decrease [Ainbund, 1986]

В 1982–1985 гг., в период относительной стабилизации уровня, по сравнению с доспусковым периодом относительная прозрачность в Малом Севане уменьшилась в 3,7 (с 13 до 3,5 м), а в Большом Севане в 3,9 раз (с 12,4 до 3,2 м).

Наряду с общим снижением относительной прозрачности произошли заметные изменения в сезонной динамике этой величины. Для сравнения на рисунке 62 приводится сезонная динамика относительной прозрачности Малого и Большого Севана в периоды интенсивного понижения уровня (третий этап, 1951–1969 гг.), замедленного понижения и стабилизации уровня (четвертый и пятый этапы, 1963–1985 гг.). Видно, что в период 1951–1961 гг. сезонная динамика относительной прозрачности была достаточно выражена и имела максимум в августе – сентябре, а минимум – в феврале – апреле с годовой амплитудой колебания прозрачности 5–13 м. В период с 1963 по 1983 г. происходило уменьшение размаха колебаний годовой амплитуды до 2–7 м (рис. 62). Максимум прозрачности наблюдался в сентябре – октябре, а минимум в апреле – мае. В Большом Севане эта динамика менее выражена, чем в Малом.

Причины, которые могли привести к уменьшению прозрачности и изменению ее сезонной динамики после снижения уровня, многообразны. В связи с этим М.М. Айнбундом [1986] была предпринята попытка установить корреляционные связи между прозрачностью и некоторыми гидрометеорологическими условиями (величиной уровня озера относительно его естественной отметки, объемом твердого стока, суммарной радиацией, скоростью ветра над водной поверхностью и цветностью воды) для Малого и Большого Севана в отдельности.

Анализ полученных результатов [Айнбунд, 1986] показал, что значимая связь с высоким коэффициентом корреляции (0,91–0,95) имеет место между изменениями величин относительной прозрачности и уровня озера (рис. 63), а также цветностью воды. Связь с остальными показателями не установлена (коэффициенты корреляции 0,03–0,65). А.С. Парпаровым [1984] найдена обратная зависимость между величинами сезонной динамики относительной прозрачности и содержанием хлорофилла «а» в планктоне.

Статистический анализ (с использованием критерия Фишера) показывает следующее:

– достоверное снижение прозрачности в Большом Севане прослеживается с 1949 г., а в Малом Севане – с 1955 г.;

– в Малом и Большом Севане вплоть до 1955 г. не наблюдается различий в средних величинах прозрачности;

– начиная с 1956 г. в Малом Севане прозрачность в среднем выше, чем в Большом Севане.

Таким образом, наибольшие изменения прозрачности по времени совпадают с третьим этапом понижения уровня озера Севан.

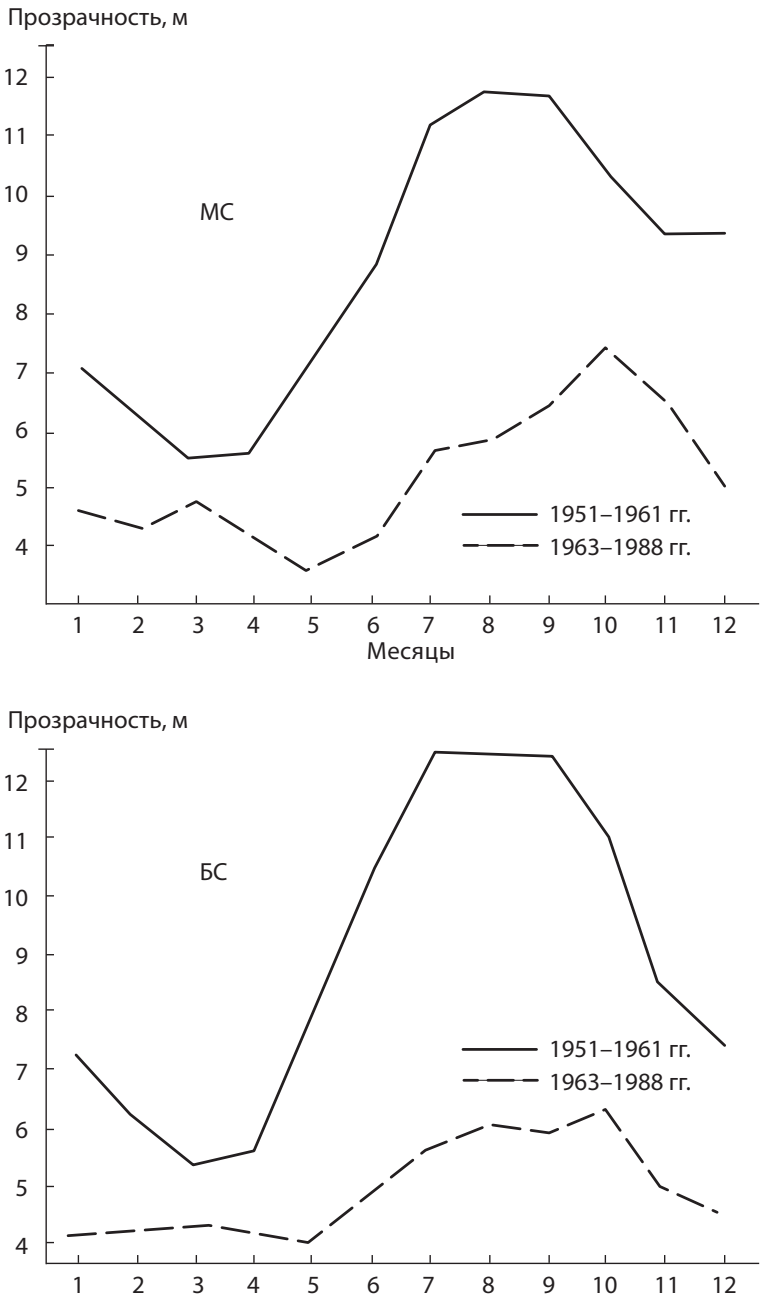


Рис. 62. Сезонная динамика относительной прозрачности (м) в Малом (МС) и в Большом (БС) Севане [Айнбунд, 1986] в разные месяцы

Fig. 62. Seasonal dynamics of relative water transparency (m) in Minor Sevan (MC) and Major Sevan (БС) [Ainbund, 1986] in different months

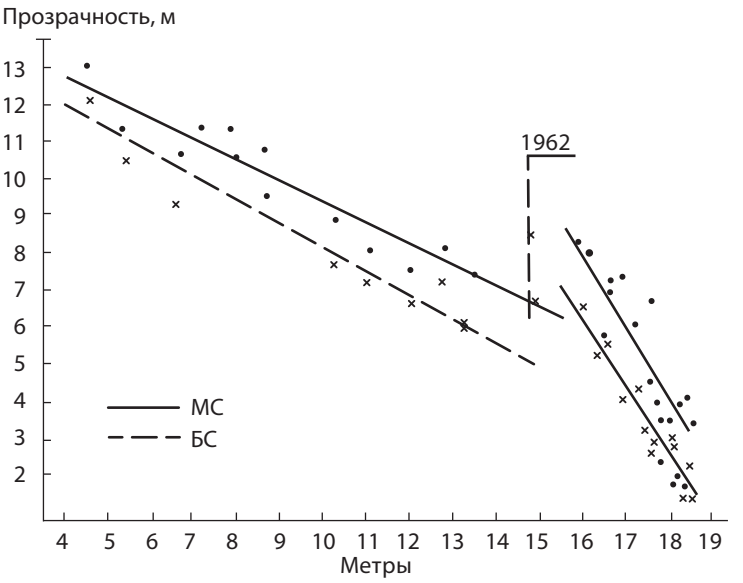


Рис. 63. Связь относительной прозрачности с уровнем на различных этапах снижения уровня озера Севан [Айнбунд, 1986]

Fig. 63. Connection between relative water transparency and water level at various stages of Lake Sevan water level decrease [Ainbund, 1986]

Гидрохимическая характеристика озера

Изучение химического состава вод Севана впервые (1891–1894 гг.) проводили М. Митте [1891], О.К. Стаховский [Марков, 1911]. В дальнейшем более подробно химический состав воды исследовали С.Я. Лятти [1932а], В.А. Толмачёв [Владимирова, 1947], Б.Я. Слободчиков [1951]. В период снижения уровня гидрохимические исследования проводили Багеян (по отчетным данным 1962 г.), Р.Л. Лачинова [1969] и А.Г. Маркосян [1966]. Начиная с 1974 г. систематические наблюдения проводили сотрудники лаборатории гидрохимии СГБС АН Армении [Парпарова, 1979, 1985; Оганесян и др., 1985б, в, 1987; Оганесян, Бабаян, 1987; Бабаян, Оганесян, 1987]. Аналогичные исследования проводились также АрмУГКС [Лачинова, 1973]. В настоящей работе до 1974 г. нами использовались данные указанных авторов, а начиная с 1974 г. – данные систематических гидрохимических исследований СГБС.

Минерализация, жесткость и pH воды

Озеро Севан по величине минерализации (около 700 мл/л) относится к пресным озерам. По классификации О.А. Алекина [1970] вода озера принадлежит к гидрокарбонатному классу, группе магния, первому типу. Для вод

Севана характерна стабильность величины минерализации и соотношения главных ионов (табл. 66). Это обусловлено незначительной долей речного притока в сравнении с объемом озера (до понижения уровня – 1,3 %, в современных условиях – 2,3 %) и интенсивным испарением с его поверхности.

Наши расчеты по балансу количества минеральных солей в естественных условиях (до 1933 г.) и в рассматривамый период (1984–1985 г.) показывают, что Севан имеет большую инерцию по отношению к величине минерализации воды в процессе понижения уровня (табл. 67). В естественных условиях в озеро поступало 116,5 × 10^3 т и выносилось 91,2 × 10^3 т минеральных солей. Расхождение составило 25,3 × 10^3 т, или 0,06 % от количества солей в озере (42026 × 10^3 т) (табл. 27). В рассматриваемый период приходная часть баланса увеличилась за счет увеличения минерализации воды притоков, а расходная часть – из-за увеличения попусков. В озеро поступает 194,4 × 10^3 т и выносится 177,4 × 10^3 т минеральных солей. Расхождение баланса составляет 17,0 × 10^3 т, или 0,07 % от количества солей в озере (23897 × 10^3 т) (табл. 67). Величины расхождения баланса минеральных солей в озере Севан незначительны и находятся в пределах расчетных отклонений.

Необходимо отметить, что очень слабо изучен лимнический цикл отдельных химических элементов, обеспечивающих общую минерализацию воды озера. Из-за этого величины расходной части баланса минеральных солей получаются заниженными, следствием чего являются указанные балансовые расхождения. Для Севана представляют интерес, в частности, вопросы осаждения кальция. Жесткость вод озера не изменилась и составляет 6,0–7,0 мг-экв/л.

Понижение уровня озера не сказалось также на величине pH. Результаты выполненных в разные годы определений pH показывают весьма незначительные колебания (табл. 68). Необходимо, однако, отметить, что в последние годы возросли пределы изменений pH в периоды интенсивного «цветения» озера синезелеными водорослями.

Таблица 66. Концентрация главных ионов в воде озера Севан в разные годы (мг/л)

Годы, автор	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	∑И
1893–1894 гг., Стаховский	435,8	–	17,0	65,1	37,8	56,9	101,0	713,6
1928–1939 гг., Лятти	414,7	36,0	16,9	62,3	33,9	55,9	98,7	718,4
1950–1970 гг., АрмУГКС	399,3	45,0	19,9	64,0	39,0	56,0	92,8	716,0
1976–1984 гг., СГБС АН Армении	425,5	40,3	16,4	66,2	24,6	57,3	76,7	707,0

Таблица 67. Баланс минеральных солей в естественных условиях (до 1933 г.) и в рассматриваемый период (1984–1985 гг.) в озере Севан

Статьи баланса		Доспусковой период (до 1933 г.)			Современный период (1984–1985 гг.)		
		Объем воды 10^9 м^3	Количество солей		Объем воды 10^9 м^3	Количество солей	
			г/м^3	10^3 т		г/м^3	10^3 т
Приход	речной приток	0,81	111,0	90,0	0,87	180,0	156,6
	осадки	0,55	30,0*	16,5	0,46	40,0	18,4
	подземный приток	0,05	200,0*	10,0	0,096	200,0	19,4
	итого	1,41	–	116,5	1,426	–	194,4
Расход	поверхностный сток	0,043	718,4	30,9	0,234	707,0	165,4
	подземный сток	0,084	718,4	60,3	0,017	707,0	12,0
	итого	1,277	–	91,2	1,323	–	177,4
Содержание в водной массе озера Севан		58,5	718,4	42 026	33,8	707,0	23 897

* – данные Р.А. Лачиновой, 1984 г.

Таблица 68. Диапазон изменений pH в водах Севана в разные годы

Год, автор	Пределы	Среднее
1928–1929 [Лятти, 1932а]	9,04–9,41	9,20
1947–1948 [Слободчиков, 1951]	8,70–9,29	8,95
1958–1964 [Гамбарян, 1968а]	8,61–8,99	8,80
1976–1984 [Парпарова, 1985]	8,20–9,20	8,70

Содержание органического вещества

Несмотря на то, что трофический статус озера Севан в 1983–1985 гг. значительно выше, чем в доспусковой период, перманганатная окисляемость (ПО) воды составляет 2,4–2,8 мг O_2/л [Парпарова, 1985] и мало отличается от ПО в 1929–1960 гг. (2,1 мг O_2/л [Лятти, 1932а] и 2,2 мг O_2/л [Рыжков, 1966]). Однако следует отметить, что в высокопродуктивные 1976–1978 гг. ПО севанской воды возрастала в среднем до 3,00–3,98 мг O_2/л [Парпарова, 1979].

Систематические измерения $БПК_5$ за период 1980–1985 гг. дают величины в пределах 1,5–2,3 мг O_2/л.

Удельная электропроводность (УЭП) в озере варьирует в пределах 720–1040 мкСм/см [Оганесян, Гезалян, 1984; Оганесян и др., 1985]. Специальные исследования по распределению УЭП в Севане показали, что в условиях прямой стратификации (летом) она ко дну увеличивается, а при обратной (зимой) – уменьшается. Высокое значение УЭП, как правило, наблюдается в зимние месяцы, минимальное – осенью.

Кислородный режим

Одним из наиболее отрицательных последствий эвтрофирования озера Севан явилось ухудшение его кислородного режима.

По данным В.А. Толмачёва [Владимирова, 1947] и Б.Я. Слободчикова [1955], в период 1938–1948 гг. содержание кислорода в водной массе Малого и Большого Севана (от поверхности до дна) в разные месяцы колебалось от 5,0 до 10,5 мг O_2/л (70–110 % насыщения).

В 1980-е гг. кислородный режим озера существенно изменился. Как и в доспусковый период, в поверхностных слоях наибольшее пресыщение воды кислородом наблюдается в летний период. Однако обычными являются величины порядка 130 %, а в периоды интенсивного «цветения» воды синезелеными водорослями – до 150 % насыщения.

С момента развития стратификации содержание кислорода в придонных слоях, напротив, быстро убывает, причем быстрее в Большом Севане. В конце периода стратификации на больших площадях в придонных слоях начиная с 1970 г. развиваются анаэробные условия (рис. 64а, б) и регистрируются в значительных количествах (до 2 мг/л) сероводород и метан [Бабаян, 1984]. Более того, при незначительных различиях между температурой поверхностных и придонных слоев воды имеются выраженные различия в содержании растворенного кислорода в этих слоях (рис. 64а). Это означает, что интенсивность потребления кислорода в воде не компенсируется конвективным перемешиванием. Очевидно, усилившееся потребление кислорода имеет биологическое происхождение. Более подробно процессы, связанные с биологическим продуцированием и потреблением кислорода, описаны ниже.

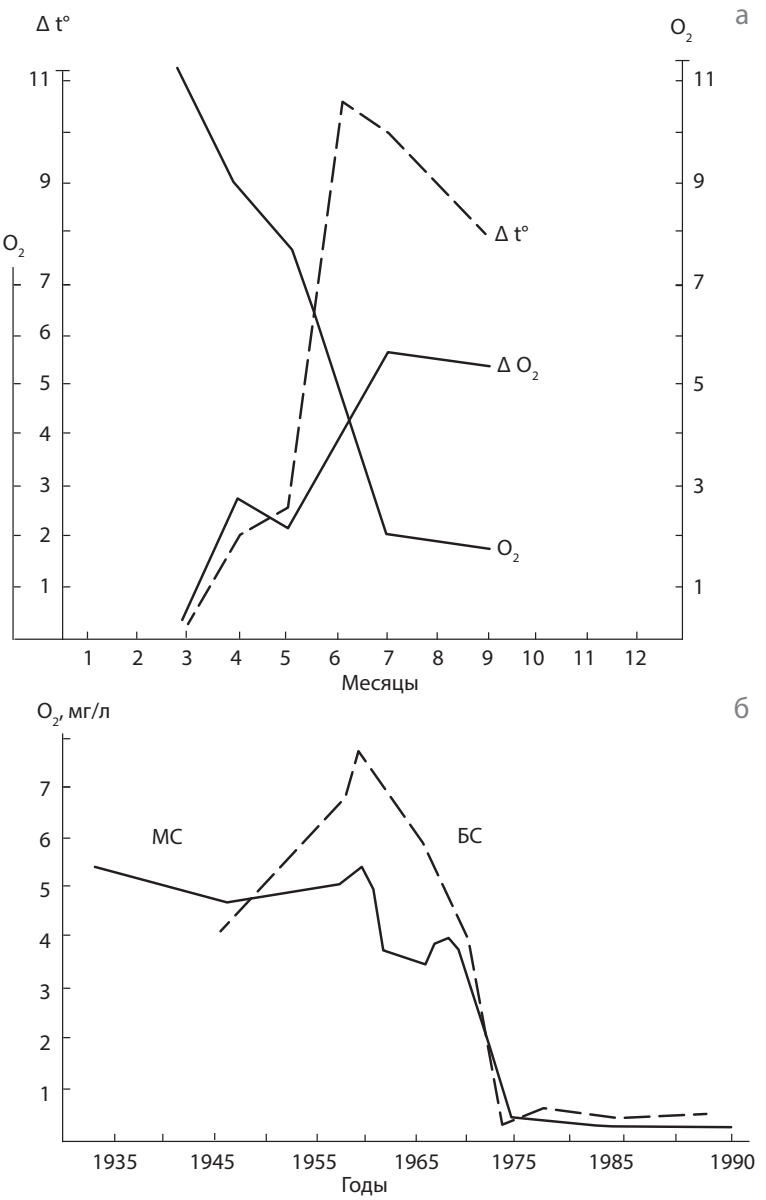


Рис. 64. Сезонная динамика кислорода у дна (мг O_2/л), разница между содержанием кислорода на поверхности и у дна (ΔO_2) и разница в температурах в этих слоях ($\Delta t°$). Большой Севан (а); межгодовая динамика минимальной концентрации кислорода в придонных слоях вод Малого (МС) и Большого (МС) Севана (б)

Fig. 64. Seasonal dynamics of oxygen near bottom (mg O_2/l), difference between oxygen content in the surface and near bottom layers (ΔO_2), and temperature difference in these layers ($\Delta t°$). Major Sevan (a); Interannual dynamics of the minimum concentration of oxygen in the near bottom layers of Minor Sevan (MC) and Major Sevan (БС) waters (б)

Представляет интерес оценка изменений скорости поглощения кислорода в гиполимнионе (ареального дефицита кислорода (АДК)) [Hutchinson, 1967] на разных стадиях эвтрофирования (табл. 69); 1958–1960 гг., когда озеро сохранило основные черты олиготрофии, 1975–1977 – высокопродуктивные годы и 1980–1983 – годы снижения степени эвтрофирования.

Таблица 69. Усредненные значения ареального дефицита кислорода (г O_2/м^2 сутки) на различных стадиях эвтрофирования озера (в скобках – диапазон изменений)

Годы	Малый Севан	Большой Севан
1958–1960	0,95 (0,40–1,35)	0,55 (0,40–0,70)
1975–1977	2,68 (2,00–3,35)	1,27 (0,90–1,56)
1980–1982	2,07 (1,60–2,30)	1,16 (0,64–1,60)

Как видно из таблицы 69, АДК в Большом Севане в среднем вдвое меньше, чем в Малом. Однако вследствие меньшей средней глубины скорость поглощения кислорода в единице объема гиполимниона выше в Большом Севане.

Можно заключить, что возникновение дефицита кислорода в озере Севан явилось следствием увеличения скорости его потребления:

– в толще воды в процессе минерализации осаждающегося автохтонного органического вещества;

– интенсификации биохимических и физико-химических процессов потребления кислорода в донных отложениях;

– увеличения температуры придонных слоев, о чем было сказано выше.

Режим основных биогенных элементов (азота и фосфора)

Режим азота и фосфора в озере Севан в доспусковой период был довольно необычен. В отличие от большинства водоемов, минимальное (следовое) количество минерального азота и высокое содержание минерального фосфора в водах озера сочеталось с олиготрофным статусом Севана.

Азот. Еще в 1897 г. О.П. Стаховский констатировал, что соединения азота в воде Севана отсутствуют. Гидрохимическими исследованиями 1926–1930 гг. [Лятти, 1929; 1932а, б; 1933] ни нитритные, ни нитратные соединения азота в водах озера не были обнаружены. По данным В.А. Толмачёва [Владимирова, 1947], в течение 1937–1939 гг. аммонийный азот в севанской воде также не был обнаружен, азот нитритов оказался всего в одной пробе в тысячных долях мг/л, а азот нитратов обнаруживался лишь в зимний период в количестве от 0,006 до 0,17 мг/л. По данным Б.Я. Слободчикова [1951], в 1947–1948 гг. в водах как Большого, так и Малого Севана нитриты не были обнаружены, а содержание нитратов

было подвержено резким сезонным колебаниям. По данным указанных авторов, в период ранневесеннего прогревания и на протяжении всего лета нитраты полностью отсутствовли. С началом осенне-зимнего охлаждения (ноябрь) нитраты регистрировались в следовых концентрациях. В течение января – марта содержание нитратов в водной толще Большого Севана колебалось от 0,04 до 0,18 мг/л, Малого – от 0,03 до 0,16 мг/л. Вертикальное распределение нитратов в этот период характеризовалось наибольшим их содержанием в поверхностных или придонных горизонтах [Слободчиков, 1951].

Таким образом, данные всех исследователей подтверждают факт исключительной бедности севанских вод доспускового периода и в период спуска уровня до 1951 г. соединениями азота.

В то же время на основании исследований С.Я. Лятти [1932а] было известно, что в Севан только с притоками ежегодно поступало до 1080 т азота. В условиях такого поступления с водосбора отсутствие азота в воде озера С.Я. Лятти предположительно объяснял выделением его в газообразной форме в атмосферу. К.С. Владимирова [1947] отсутствие в озере минерального азота объясняла полным использованием его планктонными водорослями. Позже Б.Я. Слободчиков [1955] на основании некоторых опытов подтвердил предположение С.Я. Лятти и частично отверг предположение К.С. Владимировой. Однако этот вопрос остался открытым.

Тем не менее можно констатировать, что до спуска и в течение первых двух этапов после начала понижения уровня (1933–1940 и 1941–1948 гг.) все внутриводоемные процессы были уравновешены и общее количество минерального азота, поступающего в озеро от различных источников, полностью обеспечивало внутриводоемный расход азота в сумме с количеством азота, вытекающего из озера через р. Раздан. Поэтому приход и расход, особенно в весенне-летний период – период вегетации автотрофного звена экосистемы озера, был сбалансирован.

В последующие годы (до 1960 г.), несмотря на продолжающееся понижение уровня озера, изучение соединений азота в Севане не проводилось.

В 1960–1961 гг., к концу третьего этапа понижения уровня озера, количество различных форм азота было определено Л.П. Рыжковым [1966]. Уже в этот период автор отмечал наличие аммонийного азота как в Малом, так и в Большом Севане в течение всего года в количестве 0,2 мг/л (среднее за год) с некоторым увеличением в летне-осенний период. Аммонийный азот как в Малом, так и в Большом Севане по вертикали распределялся равномерно.

Наблюдалось увеличение содержания нитритов в 1961 г. (МС – 0,011 и БС – 0,013 мг/л) по сравнению с 1960 г. (МС – 0,007 и БС – 0,0055 мг/л) в Малом – в 1,5, в Большом Севане – в 2,3 раза. В 1960 г. уменьшение содержания нитритов до аналитического нуля, как и в доспусковой период, наблюдалось с марта по июль, а в 1961 г. – с мая по июль. В вертикальном

распределении нитритов Малого и Большого Севана наблюдалось увеличение их концентрации ко дну.

Нитратный азот в 1960 г. в Малом Севане определялся в количестве 0,04 мг/л (среднее за год), в Большом – 0,03 мг/л, а в 1961 г. – 0,05 и 0,05 мг/л соответственно [Рыжков, 1966]. Его величина равнялась аналитическому нулю в 1960 г. в мае – июле, а в 1961 г. – только в мае. В вертикальном распределении нитратов в озере наблюдалось явное увеличение его концентрации ко дну, в Малом Севане от 0,035 до 0,17 мг/л, а в Большом – от 0,035 до 0,09 мг/л.

По данным Л.П. Рыжкова [1966], в период 1960–1961 гг. все месяцы как в Малом, так и в Большом Севане фиксировался органический азот во взвешенном (0,4 мг/л) и в растворенном (0,5 мг/л) состояниях (в среднем за год). В вертикальном распределении органического азота наблюдалось частичное уменьшение его концентрации ко дну.

Обобщая сказанное по содержанию азота в севанских водах в 1960 и 1961 гг. (конец третьего этапа), можно утверждать, что:

1. В процессе понижения уровня озера, особенно на его третьем этапе (1949–1962 гг.), однозначно произошло увеличение концентрации всех форм азота, во всяком случае, до той концентрации, которую можно определять аналитическим путем.

2. Если до 1949 г. некоторые формы азота обнаруживались только зимой в следовых концентрациях, то уже к 1962 г. по всей глубине озера в течение всего года определялись все формы азота. Периоды уменьшения концентрации азота до нулевых значений в течение года сужались. В 1960 г. концентрация всех форм азота равнялась нулю с марта по август. В 1961 г. этот срок сократился для различных форм азота до 2–3 месяцев и наблюдался только с конца марта по июль. Как видим, даже за такой короткий срок (с 1960 по 1962 г.) озеро Севан существенно обогатилось соединениями азота. Причиной послужило нарушение функциональных процессов в озере, что в свою очередь нарушило веками установившееся равновесие азота. Этот вопрос особо будет обсуждаться ниже.

Для последующих лет материалы по концентрации азота в воде озера отсутствуют. Только по архивным материалам СГБС можно установить, что в период с 1966 по 1969 гг. средневзвешенная концентрация нитритов в водах Севана равнялась 0,013 (МС – 0,01, БС – 0,016), а нитратов 0,03 (МС – 0,03, БС – 0,035).

Систематические определения различных форм азота в водах Севан ведутся с 1967 г., а общего азота – с 1982 г. [Парпарова, 1985].

Динамика концентраций минерального азота, сумма аммонийного, нитратного и нитритного азота в озере в 1976–1985 гг. увязывается с разными периодами жизни озера: высокопродуктивным (1976–1980 гг.) и периодом снижения продуктивности (1981–1985 гг.). Как видно из рисунка 65, 1976–1980 гг. выделялись повышенным содержанием минерального

азота. Если учесть, что часть продукции водоема в этот период создавалась синезелеными водорослями, ряд представителей которых известен как азотофиксаторы, то становится объяснимым появление в этот период значительных количеств азота в воде озера. Концентрация минерального азота в период наблюдений колебалась от 0,11 до 0,27 мг/л, достигая максимальных значений в 1978–1980 гг. (0,24; 0,27 мг/л).

Наблюдалось также некоторое увеличение минерального азота у дна (рис. 65). Максимальные концентрации минерального азота у дна отмечены также в 1978–1980 гг. (0,26–0,31 мг/л).

Начиная с 1981 г. концентрация минерального азота в водах озера относительно стабилизировалась на более низком уровне. При этом концентрация нитратов снизилась на порядок (с 0,03 до 0,005 мг/л) при одновременном увеличении в среднем для озера концентрации аммонийного азота (с 0,07 до 0,11 мг/л). Изменение соотношения форм азота является свидетельством того, что процессы круговорота азота в озере нарушены.

В сезонной динамике минерального азота у поверхности и у дна (рис. 66) приведены среднемесячные результаты по материалам 1976–1985 гг., четко прослеживается увеличение концентрации минерального азота в воде озера в теплое время года. В стратифицированных условиях за счет выноса минерального азота из донных отложений (в основном в виде иона аммония) в придонных слоях скапливается значительное количество минерального азота, причем на больших глубинах их концентрация более значительна (Малый Севан) (рис. 66). На меньших глубинах (Большой Севан) гомотермия наступает раньше и накопление азота у дна менее заметно (рис. 66). В целом по озеру в летне-осенние месяцы отмечается увеличение концентрации минерального азота у дна.

Систематические определения общего азота начаты нами в 1982 г. По данным за 1982–1985 гг. концентрация общего азота изменялась от 0,14 до 1,30 мг/л. Однако в среднем для озера в этот период она колебалась незначительно, соответственно составив 0,75; 0,87; 0,85; 0,74 мг/л.

Азот в озере представлен в основном органическими соединениями (взвешенными и растворенными). Доля минерального азота от общего в 1982–1985 гг. составила 13,0; 10,3; 9,4; 13,3 % соответственно. Отражением доминирующей роли органических соединений в общем количестве азота является наличие сильной положительной связи между органическим и общим азотом. Соответствующие коэффициенты корреляции составляют: для поверхностного слоя воды Малого Севана 0,964 (n = 44), для поверхностного слоя Большого Севана – 0,977 (n = 43), для придонного слоя Малого Севана – 0,831 (n = 43), для придонного слоя Большого Севана – 0,957 (n = 42).

Меньшая корреляция между органическим и общим азотом для придонных горизонтов Малого Севана отражает упомянутое выше накопление минерального азота в более глубоководных участках озера.

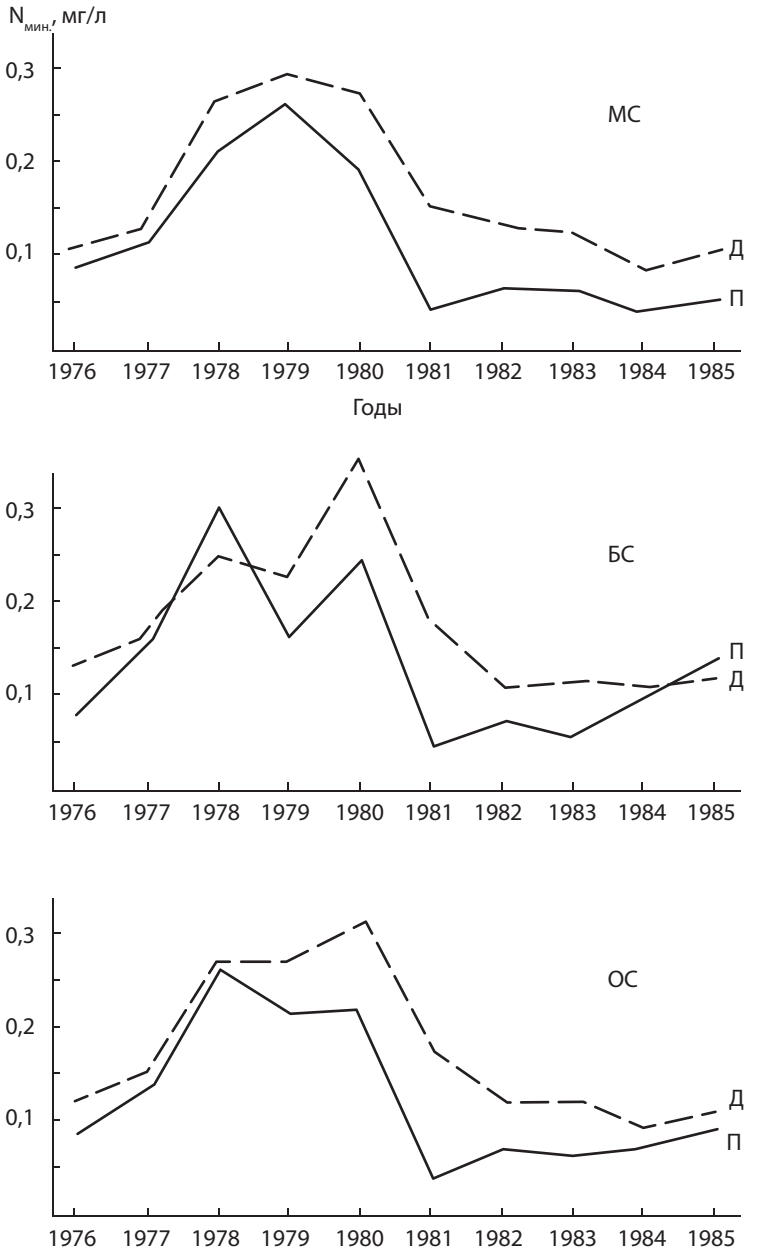


Рис. 65. Годовая динамика концентрации минерального азота в поверхностном (0–5 м, П) и в придонном (Д) слоях воды Малого (МС), Большого (БС) и озера Севан в целом (ОС)

Fig. 65. Annual dynamics of the mineral nitrogen concentration in the surface (0–5 m, П) and in the near bottom (Д) layers of water in Minor Sevan (МС) and Major Sevan (БС) and Lake Sevan on the whole (ОС)

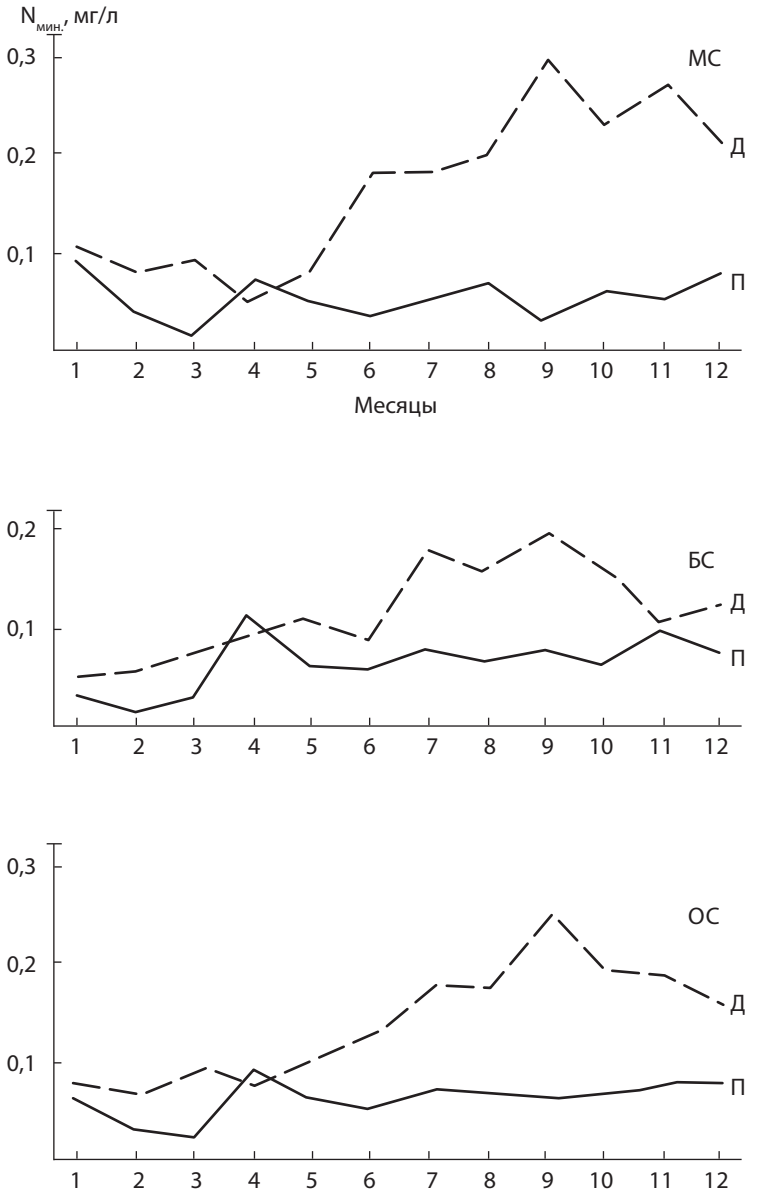


Рис. 66. Сезонная динамика концентрации минерального азота, усредненная за 1976–1985 гг., в поверхностном (0–5 м, П) и в придонном (Д) слоях воды Малого (МС), Большого (БС) и Севана в целом (ОС)

Fig. 66. Seasonal dynamics of the mineral nitrogen concentration averaged for 1976–1985 in the surface (0–5 m, П) and in the near bottom (Д) layers of water in Minor Sevan (МС), Major Sevan (БС), and Lake Sevan on the whole (ОС)

Количество азота во взвешенном веществе довольно велико и составляет около 20 % от общего.

Сезонная динамика общего азота в воде озера (среднемесячные результаты по данным 1982–1985 гг.) характеризуется выраженным весенним максимумом, совпадающим с весенней циркуляцией воды и максимальным поступлением азота с водосбора. В этот же период отмечается максимум биомассы планктона.

Фосфор. Многочисленными исследованиями последних десятилетий выявлена особая роль фосфора в экосистемах пресных водоемов.

Спуск уровня и вызванное им эвтрофирование сопровождались более-менее равномерным снижением концентрации фосфора в водах озера [Парпарова, Парпаров, 1983] со скоростью 0,006 мг Р/л в год. В этом процессе отмечается два периода: относительной стабилизации содержания минерального фосфора с концентрацией 0,07–0,08 мг Р/л (1976–1980 гг.) и период более низких концентраций – 0,02–0,03 мг Р/л (1982–1985 гг.) (рис. 67). По-видимому, период интенсивного «цветения» воды (1976–1980 гг.) вывел часть фосфора из круговорота путем захоронения его в донные отложения. Подтверждением этому служит увеличение концентрации фосфора в донных отложениях [Резников, 1984; Парпарова, 1985] и значительная величина захоронения фосфора [Стравинская и др., 1984].

Сезонная динамика распределения фосфора не имеет выраженных максимумов (как для минерального, так и для общего фосфора) (рис. 68, 70). Весенний паводок приводит к незначительному увеличению концентрации фосфора в воде в марте. Увеличение диффузионного выноса фосфатов в теплое время года со дна приводит к их увеличению в придонных слоях в июле – сентябре (рис. 68, 70). Для вертикального распределения фосфора характерно увеличение концентраций ко дну, выраженное как для минерального, так и для общего фосфора (рис. 67–70).

Отношение фосфатов у дна к таковому у поверхности ($Р_{дно/пов.}$) возросло за 1976–1985 гг. более чем в два раза, что свойственно озерам, подверженным эвтрофированию. Между содержанием фосфатов у дна и концентрацией кислорода прослеживается слабая обратная связь ($r = -0{,}57$, $n = 21$). Отношение $Р_{дно/пов.}$ также находится в обратной зависимости от содержания кислорода у дна. Эта связь может быть описана уравнением [Парпарова, 1985]:

$$Р_{дно/пов.} = (10{,}24 \pm 3{,}30) - (1{,}05 \pm 0{,}64)O_2 \text{ (мг/л)}$$
$$r = -0{,}62;\ n = 21.$$

Систематические определения общего фосфора проводятся начиная с 1977 г. Сравнение средних концентраций фосфора на различных станциях озера показывает, что фосфор распределен по акватории озера равномерно без достоверных различий между отдельными станциями.

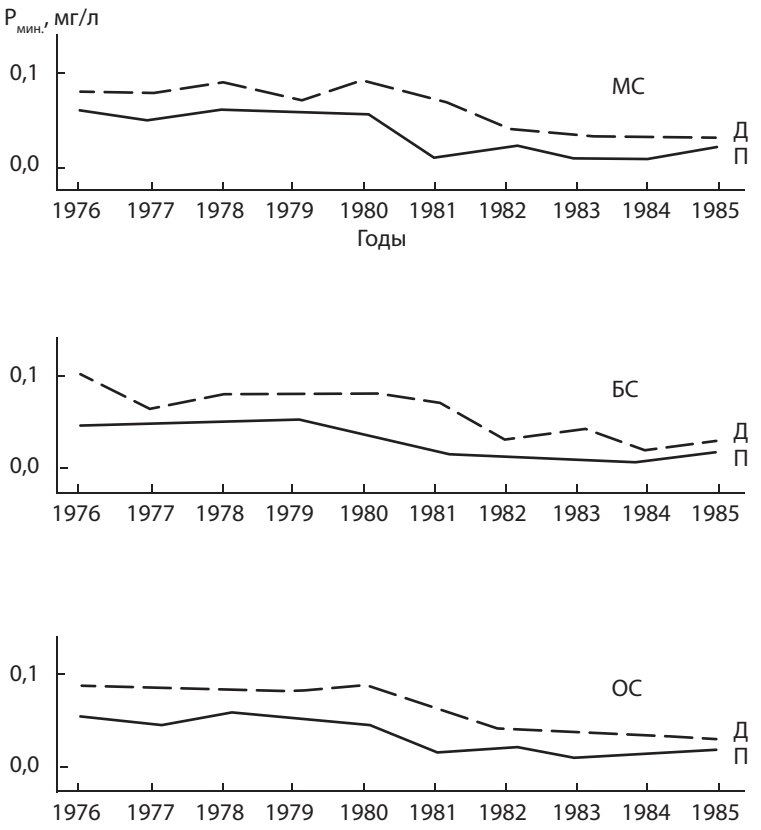


Рис. 67. Годовая динамика концентрации минерального фосфора в поверхностном (0–5 м, П) и придонном (Д) слоях Малого (МС), Большого (БС) и Севана в целом (ОС)
Fig. 67. Annual dynamics of the mineral phosphorus concentration in the surface (0–5 m, П) and in the near bottom (Д) layers of water in Minor Sevan (МС), Major Sevan (БС), and entire Lake Sevan (ОС)

В годовой динамике максимальная концентрация общего фосфора была зафиксирована в годы интенсивного эвтрофирования озера (1977–1980 гг.). В дальнейшем, как и для минерального фосфора, наблюдалось ее снижение (рис. 67, 69).

Содержание взвешенного фосфора колеблется от 14 до 30 % от общего.

За рассматриваемый период доля минерального фосфора в его общем количестве колебалась от 30 до 100 %. Эта величина изменяется от года к году, что является еще одним свидетельством нестабильности экосистемы озера.

Таким образом, понижение уровня озера сопровождалось относительно равномерным снижением концентрации фосфора в севанской воде.

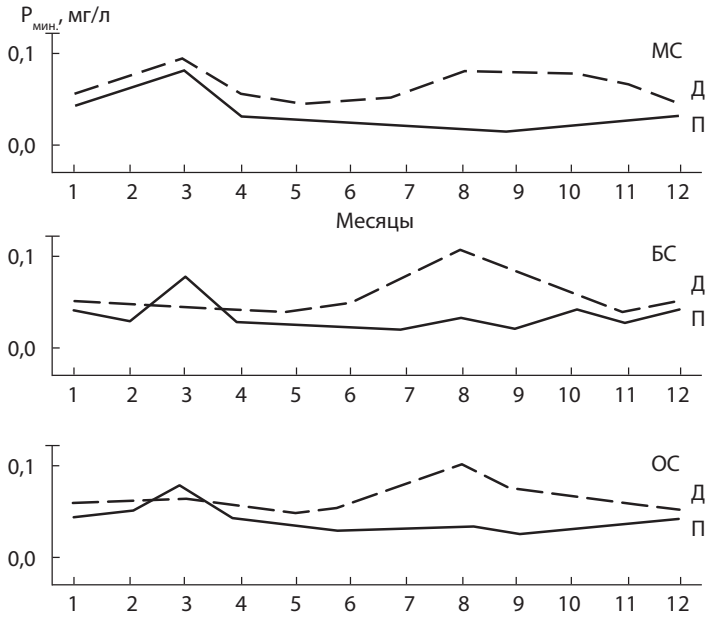
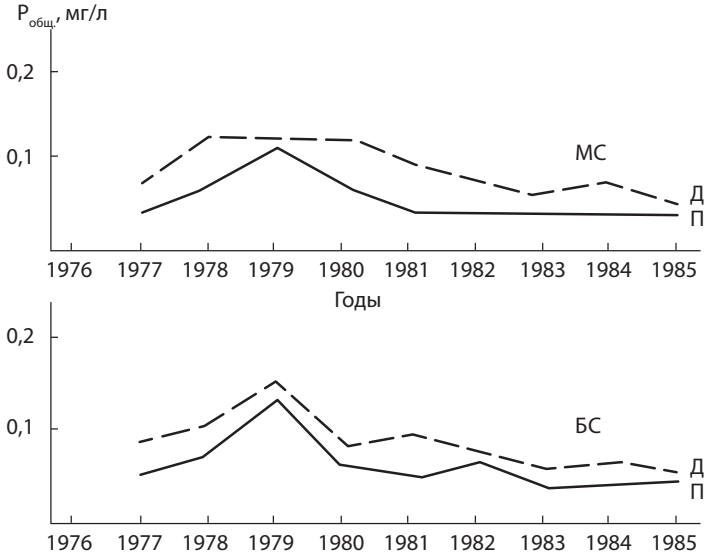


Рис. 68. Сезонная динамика концентрации минерального фосфора, усредненная за 1976–1985 годы в поверхностном (0–5 м, П) и в придонном (Д) слоях Малого (МС), Большого (БС) и Севана в целом (ОС)

Fig. 68. Seasonal dynamics of the mineral phosphorus concentration averaged for 1976–1985 in the surface (0–5 m, П) and in the near bottom (Д) layers of water in Minor Sevan (МС), Major Sevan (БС), and entire Lake Sevan (ОС)



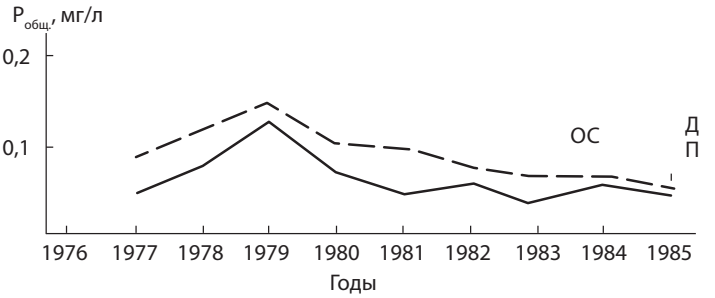


Рис. 69. Годовая динамика концентрации общего фосфора в поверхностном (0–5 м, П) и в придонном (Д) слоях Малого (МС), Большого (БС) и Севана в целом (ОС)

Fig. 69. Annual dynamics of the general phosphorus concentration in the surface (0–5 m, П) and in the near bottom (Д) layers of water in Minor Sevan (МС), Major Sevan (БС), and entire Lake Sevan (ОС)

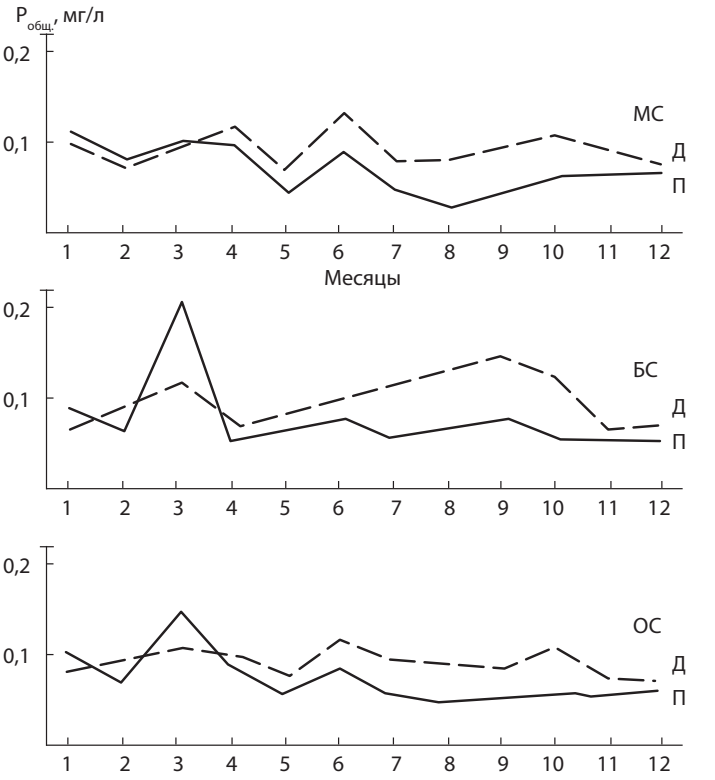


Рис. 70. Сезонная динамика общего фосфора, усредненная за 1976–1985 гг., в поверхностном (0–5 м, П) и в придонном (Д) слоях Малого (МС), Большого (БС) и озера Севан в целом (ОС)

Fig. 70. Seasonal dynamics of the general phosphorus concentration averaged for 1976–1985 in the surface (0–5 m, П) and in the near bottom (Д) layers of water in Minor Sevan (МС), Major Sevan (БС), and entire Lake Sevan (ОС)

Гидробиологическая характеристика озера Севан

Фитопланктон и первичная продукция

Изучению фитопланктона озера Севан посвящена обширная литература, охватывающая период с 1937 г. по настоящее время [Владимирова, 1939, 1947; Стройкина, 1953; Мешкова, 1962; Гамбарян, 1968а, б; Легович, 1968, 1979; Никулина, Мнацаканян, 1984; Мнацаканян, 1984; Парпаров, 1979а, б, в, 1983, 1984].

В доспусковой период озеро, сравнительно бедное по качественному составу водорослей, было сходно с другими высокогорными олиготрофными озерами. В этот период наибольшего количественного развития достигали диатомовые водоросли, вегетация которых приводила к зимне-весеннему максимуму биомассы. Летний период характеризовался максимальным числом видов (27 видов против 8–12 зимой) при минимальной биомассе [Владимирова, 1939]. Ранние исследователи севанского фитопланктона подчеркивали закономерные колебания численности отдельных видов и наличие их устойчивой сукцессии в разные годы. Для вертикального распределения водорослей было характерно наличие глубоководных (на глубинах 20–30 м) максимумов их численности и биомассы.

Такой характер фитопланктона озера Севан, свойственный доспусковому периоду, сохранился в первый и второй этапы (до 1948 г.) искусственного понижения его уровня.

Важным проявлением эвтрофирования озера Севан стало ранее не наблюдавшееся массовое развитие синезеленых водорослей рода Anabaena, начавшееся в конце третьего и достигшее уровня «цветения» воды в начале четвертого этапа (1964 г.) понижения уровня. Детально динамика этого негативного с точки зрения качества воды процесса описана Н.А. Легович [1968, 1979]. Тогда же произошли существенные структурные изменения в фитопланктоне – резко сократилось развитие прежних доминантов (главным образом диатомовых водорослей) и появились новые постоянные компоненты – зеленые и синезеленые водоросли.

В дальнейшем, по мере развития эвтрофирования, происходило обогащение видового состава фитопланктона. Согласно последнему опубликованному списку [Никулина, Мнацаканян, 1984], выявлено 97 таксонов водорослей, из которых 70 % от общего числа – типичные представители планктона водоемов.

В современный период (1976–1985 гг.) сезонная динамика биомассы фитопланктона сохранила основные черты, свойственные развитию водорослей и в более ранние годы, а именно: максимальные значения биомассы весной и осенью, минимальные значения – зимой и летом. Исключение составляют выраженные летние максимумы биомассы фитопланктона в поверхностных слоях озера, оцененные по содержанию хлорофилла «а»

в 1976–1977 гг. с особо интенсивным «цветением» воды синезелеными водорослями [Парпаров, 1979а, б, в].

Как видно из таблицы 70, четвертый этап искусственного понижения уровня (1976–1983 гг.) характеризуется значительным увеличением биомассы фитопланктнона по сравнению со всеми предыдущими периодами.

Многократное увеличение биомассы севанского фитопланктона с 0,2–0,5 г/м^3 в 1937–1962 гг. до 2,0–3,0 г/м^3 в 1976–1983 гг. является одним из показателей его эвтрофировния.

Таблица 70. Динамика средневзвешенной в столбе воды биомассы фитопланктона (г/м^3) и диапазон ее изменения (в скобках) на разных этапах понижения его уровня (1937–1962 гг. – данные Легович, цит. по: [Мешкова, 1975]; 1976–1983 гг. – [Никулина, Мнацаканян, 1984])

Этап	Годы	Малый Севан		Большой Севан		Озеро Севан	
		абсолют. значение	относит. знач.	абсолют. значение	относит. знач.	абсолют. знач.	относит. знач.
1	1937–1939	0,21 (0,002–0,35)	1,00	0,28	1,00	0,25	1,00
2	1947–1948	0,26 (0,04–0,75)	1,24	0,35 (0,05–0,82)	1,25	0,30	1,20
3	1958–1962	0,50 (0,09–1,66)	2,40	0,40 (0,08–1,42)	1,40	0,45	1,80
4	1976–1977	3,48 (0,96–6,67)	16,6	3,11 (1,50–6,88)	11,0	3,30	13,2
	1980–1981	3,00 (0,08–12,0)	14,3	2,50 (0,25–11,0)	9,00	2,75	11,0
5	1982–1983	2,50 (0,48–4,14)	12,0	2,00 (0,34–2,45)	7,00	2,30	9,2
	1985	1,56 (0,40–3,11)	7,4	1,44 (0,46–3,42)	5,2	1,48	6,0
	1986*	2,26 (6,38–0,87)	10,76	2,27 (3,9–0,48)	10,81	2,27	10,81
	1987*	1,50 (3,98–0,34)	7,14	1,64 (2,9–0,52)	7,81	1,59	7,56
	1988*	1,88 (5,61–0,30)	8,95	1,58 (3,51–0,32)	8,81	1,86	8,86
	1988**	2,5 (7–0,6) $Б/Б_{хл}$=1,33	11,90	2,5 (5,9–0,4)	11,90	2,5	11,90
	1989*	1,43 (2,95–0,35)	6,81	1,19 (2,92–0,59)	5,67	1,28	6,1
	1990*	0,58 (1,76–0,135)	2,76	0,52 (1,23–0,24)	2,48	0,54	2,57

*Расчетные значения.

**Биомасса определена по содержанию хлорофилла в воде.

Одна из основных концепций современной лимнологии состоит в признании определяющего влияния автотрофного звена на функционирование последующих звеньев трофической цепи [Винберг, 1960; Россолимо, 1977] и трофический статус водоема в целом.

Первые измерения первичной продукции планктона Севана были выполнены в 1957 г. С.И. Кузнецовым (радиоуглеродным методом) и в 1958 г. Г.Г. Винбергом (кислородным методом) (табл. 71). Систематические исследования (кислородным и радиоуглеродным методом) проведены в 1959 г. М.Е. Гамбаряном [1968а, б] и в 1976–1985 гг. А.С. Парпаровым [1979а, б, в]. М.Е. Гамбаряном показано, что результаты, полученные кислородным методом, более реальны, однако, они имеются только для Малого Севана. По его данным, суточная первичная продукция планктона в среднем за 7 месяцев 1959 г. составляла 0,8 г O_2/м^2×сут. (1000 ккал/м^2×год). В связи с отсутствием сведений за более ранний период, приведенное значение первичной продукции рассматривается как характеризующее доспусковой период.

Систематические исследования первичной продукции планктона Севана проводятся с 1976 г. [Парпаров, 1979а, б, в; 1984]. Основная часть определений выполнена кислородным методом (табл. 71).

Наибольшие значения первичной продукции, рассчитанной под 1 м^2 поверхности воды (A_Σ) за период наблюдений, были зарегистрированы в 1977 г. во время массовой вегетации синезеленых водорослей *Anabaena flos-aquae* и замениших ее *Aphanizomenon flos-aquae* [Парпаров, 1983], они составили 9,8–10,0 г O_2/м^2×сут. Такие величины первичной продукции планктона характерны для эвтрофных водоемов [Винберг, 1960; Бульон, 1983].

В высокопродуктивные годы сезонная динамика A_Σ имела выраженный характер. Наибольшие значения наблюдались в период вегетации синезеленых водорослей, несколько меньше – весной и осенью во время вегетации диатомовых водорослей. В менее продуктивные годы максимумы A_Σ стали менее выраженными, а сезонная динамика – более сглаженной. Сокращение интенсивности развития синезеленых водорослей привело к исчезновению выраженных максимумов продукции в теплое время года.

При рассмотрении результатов определений первичной продукции планктона Севана целесообразно выделить два периода (табл. 71): высокопродуктивный (1976–1978 гг.) и менее продуктивный (1981–1984 гг.), 1979–1980 гг. носят в какой-то степени переходный характер.

Как видно из таблицы 71, после высоких среднегодовых значений 1976–1978 гг. (4,5–5,6 г O_2/м^2×сут.) первичная продукция снизилась до 1,4–3,2 г O_2/ м^2×сут. в 1981–1984 гг. Наименьшие значения наблюдались в 1983 г. в связи с аномальным для Севана ледоставом (лед был покрыт толстым слоем снега, что препятствовало проникновению света в воду). Следует подчеркнуть, что даже в 1983 г. первичная продукция планктона была почти вдвое выше, чем в 1959 г.

Увеличение первичной продукции планктона в 1976–1984 гг. в 3–7 раз по сравнению с 1959 г. характеризует интенсивность эвтрофирования озера Севан.

Таблица 71. Средняя первичная продукция планктона (г $O_2/м^2 \times$ сут.) озера Севан в разные годы (в скобках диапазон колебаний; 1959 – по данным: [Гамбарян, 1963]; 1976–1984 гг. – по данным: [Парпаров, 1979а, б, в; 1984])

Год	Малый Севан	Большой Севан	Озеро Севан
1959	0,325	0,165	0,207
1976	5,07 (1,82–8,90)	5,94 (2,51–8,81)	5,69
1977	5,61 (2,33–9,86)	6,11 (2,45–10,00)	6,00
1978	4,69 (2,90–5,87)	4,56 (0,90–7,10)	4,59
1979	2,64 (0,50–6,72)	2,40 (1,05–3,28)	2,46
1980	2,73 (0,78–5,04)	3,37 (0,17–6,99)	3,2
1981	3,19 (0,75–7,07)	2,35 (0,94–3,30)	2,57
1982	2,22 (0,80–3,75)	2,47 (0,39–5,34)	2,41
1983	1,38 (0,14–3,24)	1,77 (0,27–3,33)	1,67
1984	2,42 (1,78–3,24)	2,30 (1,11–3,72)	2,38
1985	1,58 (0,80–2,36)	1,58 (0,60–2,56)	1,58
1986	2,43 (1,54–4,07)	2,59 (1,60–3,79)	2,53
1987	2,16 (1,64–2,58)	2,01 (1,27–3,69)	2,07
1988*	2,03 (1,30–2,99)	2,50 (0,80–4,95)	2,32
1989*	2,73 (0,73–4,92)	2,00 (0,42–3,17)	2,28
1990*	1,64 (0,32–3,41)	2,16 (0,52–5,14)	1,96

*Расчетные значения.

Наблюдавшиеся в высокопродуктивные годы величины валовой первичной продукции планктона Севана (табл. 72) характерны для эвтрофных водоемов [Винберг, 1972; Бульон, 1983]. Средние значения за 1981–1984 гг. характерны, скорее, для мезотрофных водоемов (учитывая круглогодичную вегетацию севанского фитопланктона, а также довольно большую глубину эвфотической зоны).

Важным показателем способности экосистемы к самоочищению является величина деструкции органического вещества (количество кислорода, расходуемого на минерализацию взвешенного и растворенного органического вещества).

Во все годы наблюдений на озере Севан (табл. 73) деструкция органического вещества в водной массе превосходит первичную продукцию ($Д_{\Sigma}/A_{\Sigma}>1$).

По мнению А.С. Парпарова [1979в], отрицательный продукционный баланс экосистемы Севана не может быть объяснен поступлением органических веществ с водосбора. Причины значительного превышения деструкции над первичной продукцией до настоящего времени не выяснены; этот вопрос нуждается в дополнительном изучении.

Таблица 72. Валовая первичная продукция планктона (ккал/м^2×год) озера Севан в разные годы (1959 г. – по данным: [Гамбарян, 1968а, б]; 1976–1984 гг. – по данным: [Парпаров, 1979а, б, в; 1984])

Год	Малый Севан	Большой Севан	Озеро Севан
1959	1000	–	–
1976	6290	7370	7100
1977	6960	7580	7420
1978	5820	5660	5700
1979	3280	2980	3060
1980	3390	4180	3980
1981	3960	2920	3190
1982	2760	3070	2990
1983	1710	2200	2070
1984	3000	2850	2890
1976–1978	6360	6870	6740
1981–1985	2960	2760	2790
1986	3015	3177	3116
1987	2681	2494	2565
1988	2520	3100	2880
1989	2035	2482	2312
1990	2030	2650	2414

Таблица 73. Среднегодовые величины деструкции органического вещества в водной массе озера Севан ($Д_{\Sigma}$ г O_2/м^2×сут.), а также их отношение к первичной продукции планктона ($Д_x/A_z$)

Год	Малый Севан		Большой Севан	
	$Д_{\Sigma}$	$Д_x/A_z$	$Д_{\Sigma}$	$Д_x/A_z$
1959	2,05	2,38	–	–
1977	9,28	1,65	6,59	1,08
1982	4,62	2,08	4,83	1,96
1983	3,49	2,53	3,74	2,11
1984–1985	5,95	2,46	4,62	2,00
1986	6,35	2,61	6,59	2,54

***

В 1982–1983 гг. на озере Севан впервые были выполнены круглогодичные исследования процесса биологической азотфиксации [Бабаян, 1984, 1985]. Оказалось, что процессы фиксации молекулярного азота в Севане происходят в течение всего года. Полученные результаты показывают, что за год из атмосферы было поглощено 4000 т (33 кг/га в год) молекулярного азота, что близко к величине годового поступления азота в озеро с речным притоком (табл. 74).

Величина азотфиксации в поверхностном слое донных отложений (60 т) мала по сравнению с азотфиксацией в водной толще. Несомненно, что в годы интенсивной вегетации синезеленых водорослей азотфиксация в озере Севан играла еще большую роль.

Таблица 74. Интенсивность азотфиксации (мг × N/м^2 × сут.) в водной массе озера Севан в 1982–1983 гг. [Бабаян, 1984]

Озеро	Станция	1982 г.			1983 г.			
		месяц						
		IX	X	XI	V	VI	VII	VIII
Малый Севан	4	12,4	19,6	11,2	12,8	27,3	7,2	4,8
	22	–	11,8	–	12,0	12,4	6,4	1,0
Большой Севан	24	53,6	–	–	10,8	21,6	16,2	3,1
	34	–	10,2	4,6	11,4	13,4	3,8	0,7
Озеро в целом	–	48,0	14,0	8,0	12,0	19,0	8,3	2,5

Весьма важное значение для понимания закономерностей функционирования автотрофного звена имеет вопрос о биогенном лимитировании первичных продуцентов.

Большинство авторов высказывало предположение о том, что в озере Севан развитие фитопланктона лимитировалось азотом [Слободчиков, Стройкина, 1953; Легович, 1968; Россолимо, 1975; Парпарова, Парпаров, 1979; Оганесян и др., 1977а]. При этом учитывалась стимулирующая роль соединений азота в опытах с добавками, а также соотношение между минеральными формами азота и фосфора в воде. Отношение N : P для минеральных форм в доспусковой период было меньше 1, а в настоящее время варьирует в пределах 3–7 (рис. 82), что дало основание предполагать смену лимитирования фитопланктона.

Однако эти соображения должны быть, по-видимому, пересмотрены. Преобладает мнение, что вопрос о типе лимитирования должен решаться на основании отношения N : P в сестоне. Так, описан водоем, для которого при N : P = 0,1 отмечалось интенсивное «цветение» воды (опыты с добавками подтверждали лимитирование азотом [Coveney et al., 1977]. В то же время

отношение N : P в сестоне равнялось 10. Получены экспериментальные данные, показывающие, что увеличение N : P слабо влияет на отношение N : P в сестоне. Авторы этих работ делают вывод о том, что в озерах лимитирование азотом вообще не имеет места [Healey, Hendzel, 1980]. Такой же точки зрения придерживается Д. Шиндлер [Shindler, 1978].

Рассмотрение отношения N : P для различных форм азота и фосфора (взвешенных, минеральных и общих) не дает однозначного ответа на вопрос о форме биогенного лимитирования развития фитопланктона в озере Севан [Парпаров, Бояхчян, 1984].

На протяжении многих лет этот вопрос решался с использованием метода биологических испытаний. Реакция севанского фитопланктона на внесение добавок различных по величине концентраций азота, фосфора и железа оценивалась по изменению численности и биомассы водорослей [Слободчиков, Стройкина, 1953; Легович, 1968], а затем – по изменению первичной продукции и хлорофилла «а» [Парпаров, Бояхчян, 1984]. Аналогичный прием был использован при оценке влияния добавок к севанской воде различного количества воды его притоков [Оганесян, Парпаров, 1983; Парпаров, Бояхчян, 1984].

Во все периоды наблюдений в опытах с добавками минеральных соединений азота и фосфора были получены как ингибирующие, так и стимулирующие эффекты, что, как и ранее, не позволяет однозначно судить о форме биогенного лимитирования.

Решение этих вопросов может быть ускорено благодаря использованию современных биофизических методов исследований. Одним из таких методов является метод замедленной флуоресценции, позволяющий оценивать физиологическое состояние фотосинтетического аппарата водорослей. Внедрение этого метода в практику гидробиологических исследований позволяет значительно повысить их чувствительность, оперировать более объективными показателями [Рубин, Оганесян и др., 1984].

Бактериопланктон и бактериобентос

Первое количественное описание бактериального населения озера Севан было выполнено М.Е. Гамбаряном в 1951–1966 гг. [Гамбарян, 1957, 1968а, б] (начало третьего и четвертого этапов понижения уровня). В дальнейшем его изучение не проводилось и было возобновлено в 1976 г., учитывая эвтрофирование озера Севан и огромную роль микроорганизмов в этом процессе [Тифенбах, 1982, 1983, 1984а, б, в; 1985; Бабаян и др., 1984, 1985; Варданян, 1984а, б; Лаптева, 1984; Оганесян и др., 1985а, г].

Общая численность бактериопланктона в начале третьего этапа понижения уровня (1952–1953 гг.) на разных глубинах в среднем составляла в Малом Севане 300 (71–840) тыс. кл/мл, а в Большом – 380 (52–1300) тыс. кл/мл

[Гамбарян, 1957]. В годовой динамике численности бактерий прослеживалось три максимума: весной, летом и в конце осени – начале зимы. Биомасса бактериопланктона в эти годы в среднем составляла в Малом Севане – 0,290 мг/л, а в Большом – 0,370 мг/л.

В период понижения уровня озера на 16,2 м (1962 г. – конец третьего этапа) общая численность и биомасса бактерий в Севане почти не изменились.

В 1966 г. (четвертый этап), в период, когда на озере начало отмечаться интенсивное «цветение» воды синезелеными водорослями, почти в два раза увеличилась средняя численность бактериопланктона, нарушились закономерности их развития в течение года. В 1966 г. высокая численность бактерий отмечалась на протяжении всей первой половины года, низкая – в летне-осенний период.

Общая численность бактериобентоса в поверхностном слое грунтов (песков, илистых песков) в среднем составила 464 млн, песчаных илов – 954 млн, илов, расположенных на глубине 20–30 м – 2670 млн и на 60 м – 3350 млн кл/сырого веса грунта [Гамбарян, 1968а, б].

В период исследований, проводимых М.Е. Гамбаряном в 1968 г., интенсивность микробиологических процессов была слабой. Гетеротрофная ассимиляция углекислоты в водах озера практически находилась на грани чувствительности метода, лишь в донных отложениях удалось зафиксировать темновую ассимиляцию CO_2 – 0,198 мкгС/м^2 в сутки.

Среднее за год время удвоения численности бактериопланктона, определенное методом Иванова, в 1962 г. составило в Малом Севане 241 час, в Большом Севане – 333 часа [Гамбарян, 1966].

В исследуемый период (1976–1985 гг.) общая численность бактериопланктона увеличилась по сравнению с 1966 г. в три, а в отдельные годы – в пять раз (рис. 71). Если в 1966 г. численность бактерий в воде озера в среднем составила 560 тыс. кл/мл, что соответствовало уровню олиготрофных водоемов, то в 1976–1985 гг. она достигает величин, отмечаемых в мезотрофных водоемах, и в среднем за год варьирует от 0,8 до 1,7 млн кл/мл [Тифенбах, 1932, 1983, 1984а].

В сезонной динамике численности бактериопланктона, как и в 1966 г., наблюдается ярко выраженный весенне-летний максимум, приуроченный к массовому развитию и отмиранию фитопланктона. Распределение бактерий по глубинам в период гомотермии относительно равномерное, иногда отмечается увеличение их числа ко дну. В период стратификации основная масса бактерий скапливается в эвфотической зоне эпилимниона; в отдельные годы отмечается наибольшее увеличение числа бактерий в термоклине [Тифенбах, 1983, 1984а].

В межгодовой динамике численности бактериопланктона в период с 1976 по 1984 г. выделяются два максимума (рис. 71). Наименьшие количества микроорганизмов в воде наблюдались в годы сплошных ледоставов.

Сравнительно высокая численность бактериопланктона (свыше 1,5 млн кл/мл) отмечалась в годы с интенсивным «цветением» воды и непосредственно после них (1977–1979 гг.) [Тифенбах, 1984а].

Во все годы наблюдений средняя численность бактериопланктона была выше в Большом Севане.

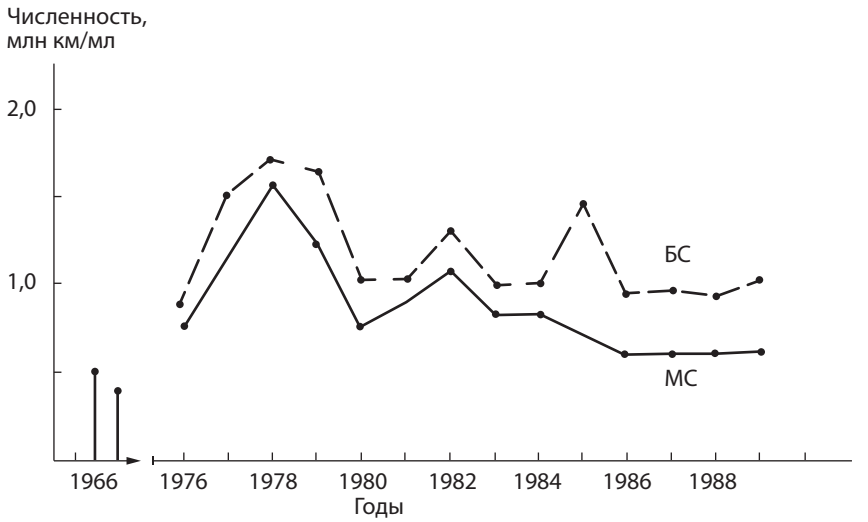


Рис. 71. Среднегодовая численность бактерий в воде озера Севан в разные годы
Fig. 71. Mean annual abundance of bacteria in Lake Sevan water in different years

Содержание сапрофитных бактерий составило в 1980 г. 3500 кл/мл, что на порядок выше, чем в 1952 г. Соотношение между сапрофитами и общей численностью бактерий возросло с 0,04 % в 1958–1960 гг. до 0,14 %, что наблюдается в водоемах с загрязненными водами [Тифенбах, 1984б].

В первой половине 1980-х гг. [Тифенбах, 1985] гетеротрофная ассимиляция CO_2 бактериями как показатель интенсивности микробиологических процессов протекает во всей водной толще озера Севан и достигает достаточно высоких величин (табл. 75). В среднем за год она варьирует от 1,0 до 1,9 мкг С/л·сут., что свойственно олиго-мезотрофным водоемам [Романенко, 1979].

В среднем гетеротрофная ассимиляция углекислоты несколько выше в Большом Севане.

Численность бактериобентоса в илах в течение 1980 г. варьировала от 62 млн до 1,6 млрд кл/сырого веса ила [Тифенбах, 1984а]. Такое содержание бактерий в грунтах характерно для олиготрофных водоемов [Кузнецов, 1970].

Скорость размножения бактерий в воде в современный период в 3–4 раза выше, чем в 1962 г. Время удвоения численности, определенное по гетеротрофной ассимиляции CO_2, колеблется в Малом Севане от 55 до 79 часов, в Большом Севане – от 52 до 80 часов [Тифенбах, 1983].

Таблица 75. Среднегодовые величины гетеротрофной ассимиляции углекислоты (мкг С/л × сут.) в озере Севан и диапазоны ее изменений (в знаменателе). Для 1983 и 1984 г. приводятся только крайние значения (поскольку наблюдения проводились посезонно [Тифенбах, 1985]. Данные 1962 г. приводятся по: [Гамбарян, 1968б])

Озеро	Год				
	1962	1979	1980	1983	1984
Малый Севан	0	1,0 / (0,2–3,3)	1,0 / (0,2–5,2)	(2,3–3,5)	(0,8–2,3)
Большой Севан	0	1,9 / (0,4–5,7)	1,4 / (0,1–3,8)	(3,3–6,4)	(4,4–10,2)

Таким образом, необходимо отметить, что за последние 10–15 лет в микробиологическом режиме озера Севан произошли существенные изменения; общая численность бактерий возросла более чем в 2–3 раза; почти на порядок увеличилось содержание сапрофитных бактерий; значительно возросла активность бактериальных процессов, свидетельствующих о повышении трофности озера.

В 1980-е гг. озеро Севан по микробиологическим показателям можно характеризовать как олиго-мезотрофный водоем с чистой или слегка загрязненной водой [Тифенбах, 1983, 1984а].

Макрофиты

Для анализа закономерностей распространения донной растительности необходимо дать оценку распределения грунтов озера Севан.

Вследствие понижения уровня воды произошли большие количественные изменения в его грунтах. В литорали озера илы составляли 15–18 %, песчаные грунты – 22–25 %, каменисто-гравийно-галечные грунты около 60 % [Саркисян, 1962].

После третьего этапа понижения уровня площадь литорали возросла на 50 % по сравнению с доспусковым периодом, что привело к увеличению абсолютной площади иловых грунтов в этой зоне более чем в 7 раз. По сравнению с данными предшествующих исследователей [Лятти, 1932а; Саркисян, 1962], в рассматриваемый период грунты представлены в основном диатомовыми илами (75 %). В озере, особенно в Большом Севане, полностью осушились каменисто-гравийные грунты и галечник.

В рассматриваемый период характер расположения илов в зависимости от глубины в разных частях озера сходен. В обеих частях озера до глубины 2–3 м в основном отмечаются песчаные грунты. В Малом Севане с глубины 3–4 м начинается зона заиленных песков, с 7 м – песчаных илов и с 10–13 м – чистых илов. В Большом Севане заиленные и илистые пески встречаются с глубины 7–10 м, с 10–13 м характерны песчаные илы, переходящие в чистые илы с глубины 13–16 м и больше.

В Малом Севане светло-серые окисленные илы отмечаются на глубинах 10–20 м, в Большом – 16–20 м. На глубинах 25 м в Малом Севане и 20–25 м в Большом грунты представлены серыми илами с относительно небольшим количеством темно-серых и даже черных илов. Глубже, на 30 м в Малом Севане и 25 м в Большом, для илов характерен черный цвет, однако в их состав еще входит небольшое количество серых илов (в виде «пятен» или наилка). На 35–40 м и глубже в Малом Севане и на 30 м в Большом Севане встречаются черные илы, имеющие во второй половине лета и осенью явно выраженный запах сероводорода.

В доспусковой период характерной особенностью Севана было развитие макрофитов, которые благодаря высокой прозрачности воды доходили до значительных глубин и служили местом обитания фитофильных организмов бентоса, в том числе гаммарусов – важнейшего компонента питания севанских рыб. Севан относился к тем типам озер, где макрофитами создавалась значительная доля органического вещества и они играли существенную роль в процессах функционирования экосистемы и поддержания ее стабильного состояния.

Макрофиты Севана изучены довольно хорошо [Арнольди, 1929; Владимирова, 1947; Маркосян, 1951; Гамбарян, 1979; 1984 и др.]. Видовой состав макрофитов озера Севан в разные годы приводится в таблице 76.

До понижения уровня озера, вдоль северо-восточного берега, где дно круто падает (рис. 54а, СВ) и глубинные изобаты подходят близко к берегу (табл. 62, 63), харовые водоросли занимали участок дна до глубины 17,0 м, а мхи – до 18,0–19,0 м [Арнольди, 1929; Маркосян, 1951]. Глубинные изобаты у юго-западных и южных берегов (рис. 54а, ЮЗ), имеющих более пологое дно, проходили от берегов относительно далеко (табл. 62, 63), харовые и мхи заселяли дно до 14,0 и редко до 15,0 м. Сублиторальная область, охватывающая площадь от глубины 15–18 м до 25–35 м, и профундаль – глубина 35 м – были лишены макрофитов. Понятно, что назначенные границы носят ориентировочный характер.

Л.В. Арнольди [1929] оценивал величину биомассы макрофитов в прибрежных (до глубины 6 м) участках и в бухтах озера от 6,5 до 20 кг/м^2 (сырой вес), а с глубины от 6 м до 16–18 м (зона повышенной продукции зообентоса) – 4,0–6,0 кг/м^2. Оценку общей биомассы макрофитов озера Севан мы провели на основе минимальных величин биомасс макрофитов по данным Л.В. Арнольди [1929]: для прибрежной зоны литорали (до глубины 6 м) – 7,0 кг/м^2, а глубже, до 18 м, – 4,0 кг/м^2.

В Малом Севане площадь дна до 6 м изобаты (табл. 62; до 6,75 м глубины – 1952 г.) составляла 17,8 км^2, а с 6 до 16 м – 28,2 км^2 (табл. 62; до 16,15 м глубины – 1962 г.). Биомасса макрофитов в соответствующих зонах оценивалась в 124 600 и 112 800 т, всего 237 400 т. В Большом Севане (табл. 63) площади соответствующих зон составляли 43,0 и 98,0 км^2, а биомасса макрофитов – 301 000 и 392 000 т, всего 639 000 т.

Для озера Севан в целом общая биомасса макрофитов в прибрежной зоне литорали (до 6 м глубины) составляла 425 600 т, а в зоне от 6 до 17 м – 504 800 т, всего 930 400 т. П.П. Гамбарян [1979] основывался на данных Л.В. Арнольди [1929], который ошибочно считал общую площадь этой зоны равной 51,77 км^2 вместо 125,85 км^2 [Киреев, 1933].

Таблица 76. Состав макрофитов озера Севан в разные годы (1929 г. – по: [Арнольди, 1929]; 1951 г. – по: [Маркосян, 1951]; 1974–1978; 1980; 1983; 1985 годы – по: [Гамбарян, 1979; 1984] +++ – существенная роль; ++ – малая роль; + – редко; – – отсутствует

Макрофиты	Годы						
	1929	1951	1978	1980	1983	1985	1990
Энтероморфа кладофора	+++	+++	++	+	+	++	+
Хвощ	+++	+++	–	–	–	–	–
Рдест кудрявый	+++	+++	+	–	–	–	+
Рдест густой	+++	+++	–	–	–	–	–
Рдест плавучий	+++	+++	–	–	–	–	–
Рдест гребенчатый	+++	+++	+	+	++	+++	+++
Рдест пронзеннолистный	+++	+++	+	–	+	++	++
Занникеллия	+++	+++	–	–	–	+	–
Сусак зонтичный	+++	+++	–	–	+	+	++
Тростник	+++	+++	–	–	–	–	+
Камыш компактный	+++	+++	–	–	–	–	+
Камыш Табернемонтана	+++	+++	–	–	–	–	++
Ряска горбатая	+++	+++	–	–	–	–	–
Ряска трехдольная	+++	+++	+	+	++	++	+
Гречиха водяная	+++	+++	–	–	–	–	+
Роголистник погруженный	+++	+++	+	++	+	+	+
Уруть	+++	+++	++	+	+	++	++
Водяная сосенка	+++	+++	–	–	–	–	–
Харовые	+++	+++	++	+	+	++	++
Мхи	+++	+++	++	+	++	++	+

Нами рассчитана также биомасса макрофитов, погибавших ежегодно вследствие осушения берегов в процессе понижения уровня озера (табл. 77, 78, 79). Вся макрофитная зона (до глубины 16,0 м) осушилась уже в конце третьего этапа понижения уровня (1962 г.). Гибели макрофитов в основном способствовало быстрое понижение уровня воды на третьем этапе, во время которого обнажались берега Малого Севана на ширину 20–50 м в год и Большого Севана – 60–100 м в год (табл. 62, 63).

Таблица 77. Освобожденные площади, биомасса погибших на них макрофитов и количество азота и фосфора, не использованного погибшими макрофитами, на различных этапах понижения уровня воды Малого Севана

Этап	Годы	Понижение уровня, м	Осуш. площадь, км²	Биомасса × 10³ т		Азот – 3,5 % × 10³ т		Фосфор – 0,4 % × 10³ т	
				сырой вес	сухой вес	за период	всего	за период	всего
1	1933–1940	0,65	2,60	18,2	1,52	0,05	0,05	0,006	0,006
2	1941–1948	3,15	7,00	49,0	4,08	0,14	0,14	0,016	0,016
	1949	3,83	2,70	18,9	1,58	0,06	0,06	0,006	0,006
	1950	4,54	2,30	16,1	1,34	0,05	0,11	0,005	0,011
	1951	5,48	3,20	22,4	1,87	0,07	0,18	0,007	0,018
	1952	6,75	3,80	15,2	1,27	0,04	0,22	0,005	0,023
	1953	8,06	2,90	11,6	0,97	0,03	0,25	0,004	0,027
	1954	8,73	2,00	8,0	0,67	0,02	0,27	0,003	0,030
	1955	9,71	2,70	10,8	0,9	0,03	0,30	0,004	0,034
3	1956	10,54	2,30	9,2	0,77	0,03	0,33	0,003	0,037
	1957	11,29	1,60	6,4	0,53	0,02	0,35	0,002	0,039
	1958	12,25	1,60	6,4	0,53	0,02	0,37	0,002	0,041
	1959	13,05	2,80	11,2	0,93	0,03	0,40	0,004	0,045
	1960	13,66	2,60	10,4	0,87	0,03	0,43	0,003	0,048
	1961	14,97	2,60	10,4	0,87	0,03	0,46	0,003	0,051
	1962	16,15	3,30	13,2	1,10	0,04	0,50	0,004	0,055
	Итого	**16,15**	**36,4**	**170,2**	**14,2**	**–**	**0,50**	**–**	**0,055**
4	1963–1990	18,8	10,2	40,8	3,4	0,12	0,12	0,014	0,014
	Итого 1933–1990	**18,8**	**56,2**	**278,2**	**23,2**	**–**	**0,81**	**–**	**0,091**

Таблица 78. Освобожденные площади, биомасса погибших на них макрофитов и количество азота и фосфора, не использованного погибшими макрофитами, на различных этапах понижения уровня воды Большого Севана

Этап	Годы	Понижение уровня, м	Осуш. площадь, км²	Биомасса × 10³ т		Азот – 3,5 % × 10³ т		Фосфор – 0,4 % × 10³ т	
				сырой вес	сухой вес	за период	всего	за период	всего
1	1933–1940	0,65	6,00	42,0	3,50	0,12	0,12	0,014	0,014
2	1941–1948	3,15	18,6	130,2	10,85	0,38	0,38	0,043	0,043
	1949	3,83	5,00	35,0	2,90	0,10	0,10	0,012	0,012
	1950	4,54	6,50	45,5	3,80	0,13	0,23	0,015	0,027
	1951	5,48	6,65	46,6	3,90	0,14	0,37	0,016	0,043
	1952	6,75	12,5	50,0	4,17	0,15	0,52	0,017	0,060
	1953	8,06	12,6	50,4	4,20	0,15	0,67	0,17	0,077
	1954	8,73	5,60	22,4	1,87	0,07	0,74	0,007	0,085
	1955	9,71	8,14	32,6	2,72	0,10	0,84	0,011	0,096
3	1956	10,54	9,30	37,20	3,10	0,11	0,95	0,012	0,108
	1957	11,29	7,20	28,8	2,40	0,08	1,03	0,010	0,118
	1958	12,25	9,30	37,2	3,10	0,11	1,14	0,012	0,130
	1959	13,05	7,25	29,0	2,42	0,08	1,22	0,010	0,140
	1960	13,66	5,80	23,2	1,93	0,07	1,29	0,008	0,148
	1961	14,97	10,85	43,4	3,62	0,13	1,42	0,014	0,162
	1962	16,15	9,40	37,6	3,13	0,11	1,53	0,013	0,175
	Итого	**16,15**	**116,0**	**518,9**	**43,26**	**–**	**1,53**	**–**	**0,175**
4	1963–1990	18,8	22,3	89,2	7,43	0,26	0,26	0,030	0,030
	Итого 1933–1990	**18,8**	**163,0**	**780,0**	**65,04**	**–**	**2,29**	**–**	**0,262**

Таблица 79. Освобожденные площади, биомасса погибших на них макрофитов и количество азота и фосфора, не использованных погибшими макрофитами, на различных этапах понижения уровня воды Севана

Этап	Годы	Понижение уровня, м	Осуш. площадь, км²	Биомасса × 10³ т		Азот – 3,5 % × 10³ т		Фосфор – 0,4 % × 10³ т	
				сырой вес	сухой вес	за период	всего	за период	всего
1	1933–1940	0,65	8,60	60,2	5,02	0,18	0,18	0,02	0,02
2	1941–1948	3,15	25,6	179,2	14,93	0,52	0,52	0,06	0,06
	1949	3,83	7,7	53,9	4,49	0,16	0,16	0,018	0,018
	1950	4,54	8,8	61,6	5,13	0,18	0,34	0,021	0,039
	1951	5,48	9,75	68,25	5,69	0,20	0,54	0,023	0,062
	1952	6,75	16,3	65,2	5,43	0,19	0,73	0,022	0,084
	1953	8,06	15,4	61,6	5,13	0,18	0,91	0,021	0,105
	1954	8,73	7,60	30,4	2,53	0,09	1,00	0,010	0,115
	1955	9,71	10,8	43,2	3,6	0,13	1,13	0,014	0,129
3	1956	10,54	11,6	46,4	3,87	0,14	1,27	0,015	0,144
	1957	11,29	8,8	35,2	2,93	0,10	1,37	0,012	0,156
	1958	12,25	11,0	44,0	3,67	0,13	1,50	0,015	0,171
	1959	13,05	10,0	40,0	3,33	0,12	1,62	0,013	0,184
	1960	13,66	8,4	33,6	2,8	0,10	1,72	0,011	0,195
	1961	14,97	13,3	53,2	4,43	0,16	1,88	0,018	0,213
	1962	16,15	12,7	50,8	4,23	0,15	2,03	0,017	0,230
	Итого	**16,15**	**152,7**	**687,4**	**57,26**	**–**	**2,03**	**–**	**0,230**
4	1963–1990	18,8	32,5	130,0	10,83	0,38	0,38	0,043	0,043
	Итого 1933–1990	**18,8**	**218,9**	**1056,8**	**88,04**	**–**	**3,11**	**–**	**0,353**

Условия для развития макрофитов ухудшались также вследствие снижения прозрачности воды из-за прибойного взмучивания донных песчано-иловых отложений. В результате этого донная растительность не успевала распространяться вслед за понижением уровня.

В настоящее время наибольшее развитие макрофитов характерно для бухт и защищенных от воздействия прибоя мест. Таковых гораздо больше в Малом Севане. Основу биомассы макрофитов Большого Севана на глубинах до 5 м составляют нитчатые водоросли (кладофора и энтероморфа). Рдест гребенчатый и пронзеннолистный занимают второе место. Они распространены главным образом вдоль южного побережья Большого Севана. Остальная литораль Большого Севана макрофитами не заселена. В Малом Севане подобное место обнаружено в районе Шоржи. Максимальные биомассы макрофитов сохранились в Арданишской и Лчашенской бухтах, а также в районе Гаварагет-Айриванк [Гамбарян, 1979; 1984]. Общая биомасса макрофитов в озере Севан, по данным П.П. Гамбаряна [1984], составляет примерно 35–50 тыс. т.

Зоопланктон

Зоопланктон является наиболее изученным звеном в экосистеме озера Севан [Мешкова, 1947, 1953, 1962, 1975; Никогосян, 1979, 1983, 1985; Симонян, 1981, 1983]. Для севанского зоопланктона изменения структуры, продукции и биомассы прослежены почти за 50 лет.

Эвтрофирование Севана сопровождалось значительными перестройками в видовом составе зоопланктона. Резко сократились сроки вегетации доминанта зоопланктона – дафнии – при одновременном значительном увеличении ее продукции. Из состава зоопланктона исчез один из массовых видов диаптомусов, тогда как ранее отсутствовавшие виды коловраток достигли массового развития.

Рост трофности водоема сопровождался значительным увеличением количественных показателей зоопланктона. Межгодовая динамика продукции зоопланктона приведена на рисунке 72. Ускорение темпов развития зоопланктона прослеживается с начала 1970-х гг. Наибольшие значения продукции зоопланктона наблюдались в 1976 г. (15 ккал/м^3×год). Затем, с 1981 г., продуктивность зоопланктона снизилась по сравнению с 1980 г. в два раза. В последующие годы продукция зоопланктона стабилизировалась на уровне 4–6 ккал/м^3×год.

Такие резкие колебания количественных показателей зоопланктона за последние 10–15 лет обусловлены изменением уровня первичной продукции. Анализ имеющихся материалов показал, что большинство количественных показателей зоопланктона тесно коррелирует с первичной продукцией планктона [Симонян, 1984]. Особенно это проявляется у тонких фильтратов (дафния, коловратки), которые наиболее чувствительны к изменениям окружающей среды и являются индикаторами эвтрофирования.

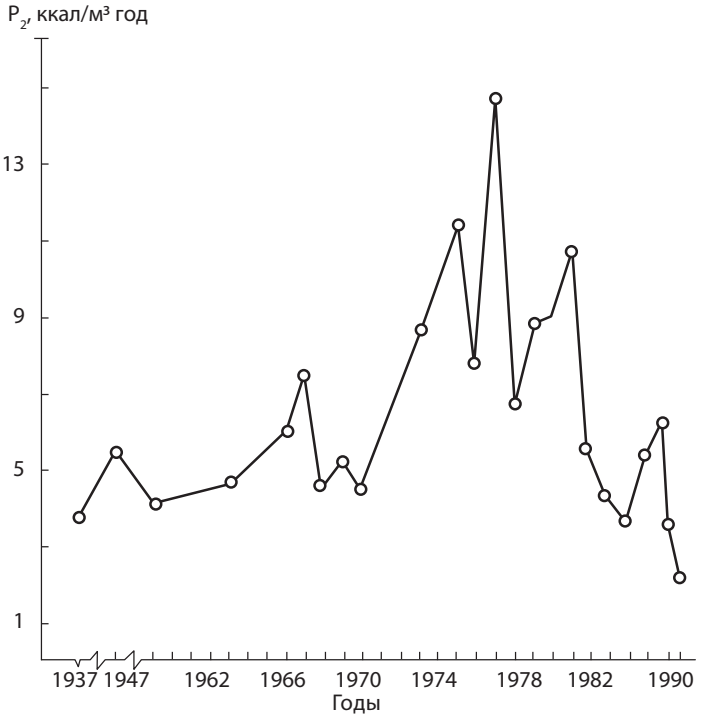


Рис. 72. Межгодовая динамика продукции зоопланктона озера Севан
Fig. 72. Interannual dynamics of zooplankton production in Lake Sevan

Значения продукции и биомассы зоопланктона в отдельные периоды понижения уровня озера приведены в таблице 80.

За последние годы произошли существенные изменения не только в биомассе, но и в продукции зоопланктона, потенциально доступной для рыб-планктофагов. Если в 1980 г. его продукция составляла 8,5 ккал/м^3, то уже на следующий год она снизилась почти в 4 раза. В 1982–1983 гг. продукция кормового зоопланктона составила всего 1,7–1,8 ккал/м^3, а в 1984 г. – 3,3 ккал/м^3.

Эколого-фаунистическое изучение протозойного планктона озера Севан начато в 1979 г.

Фауна планктона инфузорий озера представлена 28 видами [Жариков, 1985]. По видовому составу инфузорий озеро Севан сходно с другими пресноводными водоемами.

В сезонной динамике численности и биомассы инфузорий (табл. 81) выявлены два четко выраженных пика: весенне-летний и осенний, синхронных с динамикой развития фитопланктона. Увеличение численности инфузорий начинается в Большом Севане и распространяется в Малый Севан. Обнаружено, что в приустьевом районе р. Арпы развиваются формы, несвойственные фауне Севана, но характерные для Кечутского водохранилища.

Таблица 80. Усредненные величины продукции (P_2, мг/м³) и биомассы (B, мг/м³) зоопланктона в пелагиали озера Севан в отдельные периоды понижения уровня

Годы	Малый Севан		Большой Севан	
	P_2	B	P_2	B
1937–1947	7848	433	10 028	604
1957–1969	9146	467	11 227	647
1977–1980	17 273	1121	22 393	1294
1981–1984	7263	511	11 467	638
1985	7370	350	13 600	730
1986	3880	310	14 200	950
1987	11 100	640	18 100	840
1988	6180	430	7400	630
1989	2930	220	5050	300
1990	8980	620	12 960	960

Таблица 81. Продукция и средняя биомасса простейших в планктоне озера Севан

Год	Продукция, ккал/м²×год		Биомасса, г/м³	
	Малый Севан	Большой Севан	Малый Севан	Большой Севан
1980	800	360	145	106
1981	930	370	152	128
1982	330	80	51	26

Зообентос

Изменения площадей биотопов донных животных (грунтов и растительности), вызванные понижением уровня воды в озере Севан, повлекли за собой значительные изменения в зообентосе [Маркосян, 1959, 1966, 1974; Островский, 1980, 1983а, б, 1985]. Так, уменьшение площадей с зарослями мха и харовых водорослей привело к сильному сокращению численности амфипод. С обнажением каменистой зоны литорали из состава бентофауны практически исчез ряд видов животных, связанных в своей жизнедеятельности с твердым субстратом – некоторые виды ручейников, ложноконская пиявка, гидры. Увеличение площади илистых грунтов в литорали и сублиторали послужило одной из причин возрастания средней биомассы олигохет и личинок хирономид. В результате снижения уровня воды на 28,8 м существенно изменилось батиметрическое распределение организмов зообентоса: нижняя граница распространения практически всех систематических групп животных макрозообентоса повысилась на 20 м и более относительно поверхности воды. При этом наиболее резко сократились зоны обитания большинства групп, распространенных в доспусковой период в литорали и сублиторали.

Исследования, проведенные в последние годы, показали тесную связь структуры зообентоса, его биомассы и продукции с уровнем трофности экосистемы озера [Островский, 1983а, б, 1984, 1985; Островский, Манукян, 1984; Островский, Парпаров, 1985]. Так, в процессе эвтрофирования в период с 1938–1948 по 1975–1978 гг. биомасса бентоса возросла примерно в 6 раз. Это изменение произошло за счет увеличения биомассы хирономид (в 33 раза), олигохет (в 4,5 раза) и моллюсков (в 3,1 раза), подавляющая часть которых представлена детритофагами и фильтраторами. В результате этих процессов в бентосе произошла смена доминирующих групп. Если в доспусковой период и в первые годы понижения уровня (1938–1948 гг.) в бентосе по биомассе доминировали олигохеты (36 %) и гаммарусы (35 %), то в период максимальной продуктивности водоема (1975–1978 гг.) доминировали личинки хирономид (70 %), субдоминирующей группой стали олигохеты (26 %). Изменения в составе зообентоса, наблюдаемые в процессе эвтрофирования, в значительной степени могут объясняться способностью некоторых видов хирономид, обитающих в профундали, переносить гиполимниальный дефицит кислорода и сильное заиление грунтов. Это дает им конкурентное преимущество перед другими животными при развитии соответствующих условий среды при эвтрофировании. Возрастание потока осаждаемого органического вещества на дно, связанное с повышением продуктивности водоема, привело к существенному увеличению количественного развития этих животных [Островский, 1985].

Изменения продукции зообентоса наиболее детально прослежены в 1978–1983 гг., т.е. в период снижения уровня трофности озера [Островский, Парпаров, 1985; Островский, 1985]. Снижение первичной продукции планктона в 1978–1983 гг. в три раза и уменьшение вследствие этого потока органического вещества, поступающего в донные отложения, привело к снижению продукции «мирных» животных макробентоса ($Р_м$) на глубинах до 20 м (зона нагула рыб) в Малом Севане с 65 до 34 ккал/м^2×год, в Большом Севане с 110 до 29 ккал/м^2×год. В указанном диапазоне глубин $Р_м$ на 80–95 % создается нехищными личинками хирономид и олигохетами. Продукция «мирных» хирономид с 1978 до 1983 г. на глубинах 0–20 м в Малом Севане снизилась в два раза, в Большом Севане – в 5 раз; продукция олигохет в Малом Севане изменилась мало, в Большом Севане – уменьшилась вдвое. Последнее свидетельствует о том, что личинки хирономид в Севане быстрее реагируют на изменение трофических условий, чем олигохеты, и объясняется сравнительно большей скоростью оборота органических веществ и меньшей продолжительностью жизни у хирономид Севана [Островский, 1985].

В течение 1978–1983 гг. на глубинах свыше 25–30 м (нижняя граница распространения термоклина) продукция «мирного» зообентоса, создаваемая главным образом олигохетами, практически не изменилась: в Малом Севане она составляла 12–16 ккал/м^2×год, в Большом Севане – 40–47 ккал м^2×год.

Значительная по времени задержка в реакции олигохет на снижение уровня трофности экосистемы обусловлена тем, что доминирующий в озере вид олигохет при низкой температуре воды в профундали имеет большую продолжительность жизни и малую скорость оборота органических веществ [Островский, 1985].

Продукция хищных животных бентоса на глубинах до 20–25 м (в зоне их обитания) в период 1978–1983 гг. в Малом и Большом Севане колебалась в сравнительно узких пределах (11–23 ккал/м^2×год). Отношение величин продукции хищных и «мирных» организмов зообентоса в тот же период на глубинах 0–20 м возросло в обеих частях Севана вдвое: с 20–26 до 37–58 %. Это отражает увеличение пресса хищников в бентосе [Островский, Парпаров, 1985].

Уменьшение продукции «мирных» животных и возрастание пресса хищников в бентосе привели к снижению продукции донных животных, потенциально доступной для потребления рыбами. Особенно сильно она уменьшилась в зоне нагула рыб. В период с 1978 по 1983 г. на глубинах 0–20 м продукция макрозообентоса изменилась в Малом Севане с 8 до 25, а в Большом Севане варьировала от 36 до 9–38 ккал/м^2×год. Отрицательные значения продукции в 1980 и 1983 гг. обусловлены тем, что пищевые потребности хищников бентоса превышали в эти годы суммарную продукцию животных макробентоса – их потенциальных жертв [Островский, Парпаров, 1985].

Таким образом, снижение трофности озера Севан привело к наиболее существенным изменениям в бентосе на глубинах 0–20 м: снижению продукции «мирных» животных (особенно сильно – животных с короткими жизненными циклами), возрастанию пресса хищников и, как следствие, к резкому уменьшению продукции всего сообщества донных животных, потенциально доступной для потребления рыбами.

Рыбы

Антропогенное эвтрофирование озера Севан предопределило изменение в составе его рыбного населения, которое было в основном связано с нарушением условий естественного воспроизводства и питания отдельных видов рыб [Решетников, 1980; Смолей, 1980; Оганесян и др., 1977б, 1979].

Ихтиофауна озера Севан представлена лососевыми и карповыми рыбами. К первым относятся эндемичный вид севанской форели с четырьмя экологическими расами (летний и зимний ишхан, гегаркуни и боджак), а также севанский сиг, являющийся гибридной формой вселенных в озеро в 1920-е гг. сигов Ладоги и Чудского озера. К карповым рыбам принадлежат два эндемичных вида – севанская храмуля и севанский усач. С 1983 г. в озере стал встречаться карась [Оганесян, Смолей, 1985], случайно завезенный из рыбхозов Араратской долины.

До понижения уровня озера годовой улов рыб почти в равном соотношении состоял из форелей и храмули. В 1940–50-е гг. при падении численности форели и росте вылова сигов в уловах стала преобладать храмуля. К концу 1960-х гг. в уловах увеличилась роль сига (до 50 %), который в последующие годы стал составлять в промысле не менее 70–80 %. Анализ многолетней динамики учтенных уловов рыбы (рис. 73) показывает, что с конца 1970-х гг. доминирующими стали сиги, роль храмули была значительно ниже, в то время как форель в связи с сокращением ее численности с 1976 г. объявлена охраняемым видом. Уловы усача до понижения уровня озера достигали 200 ц в год, но в связи с ухудшением условий естественного воспроизводства численность его популяции резко снизилась.

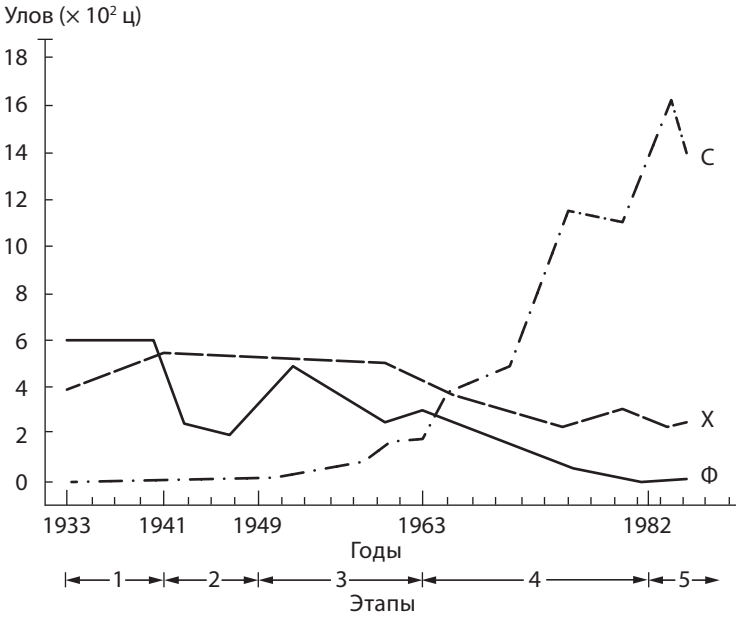


Рис. 73. Улов рыбы в озере Севан на разных этапах понижения уровня (С – сиг; Х – храмуля; Ф – форель)

Fig. 73. Fish catch in Lake Sevan at different stages of water level decrease (C – white fish; X – khramulya (*Capoeta sevangi*); Ф – trout)

Воспроизводство. Форель до понижения уровня озера размножалась в озере, в его притоках и в меньшей степени разводилась искусственно [Павлов, 1947а, б; Шаронов, 1962]. К 1980-м гг. незначительный по масштабам нерест в озере сохранился у зимнего ишхана и боджака, в то время как речной нерест форелей полностью прекратился. Можно считать, что с 1950-х и по 1980-е гг. популяция севанской форели воспроизводилась только благодаря разведению на рыбзаводах [Шаронов, 1962; Смолей, 1968а, б, 1979].

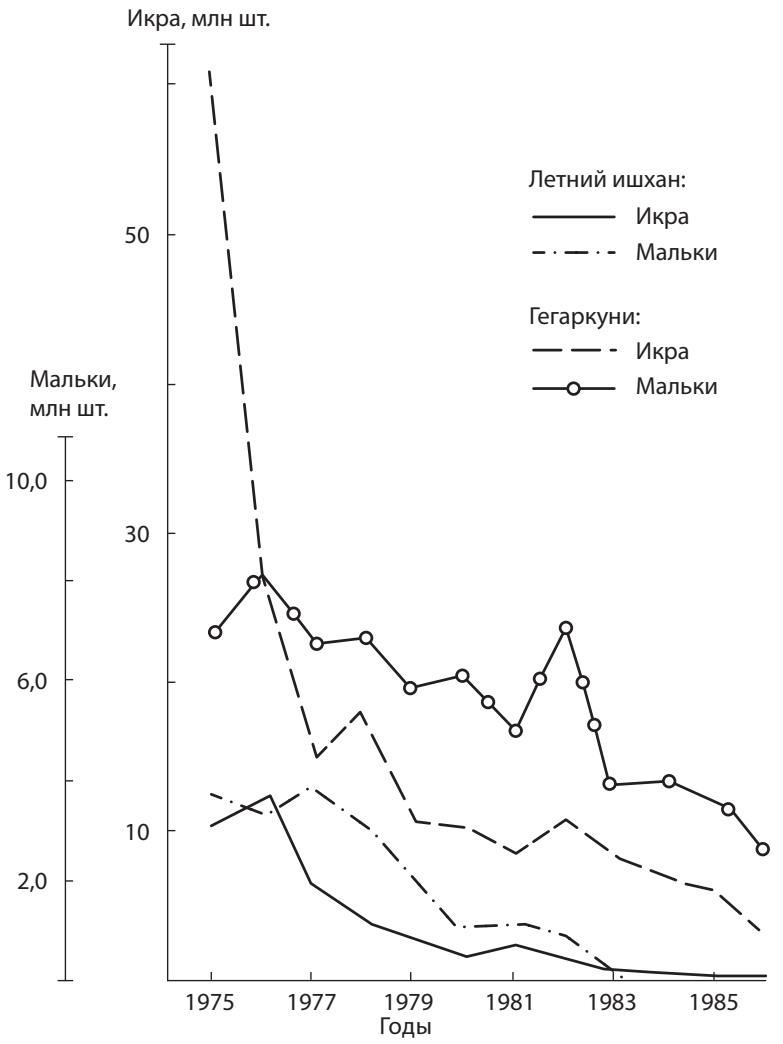


Рис. 74. Искусственное разведение форели: летний ишхан
Fig. 74. Artificial cultivation of trout: summer ishkhan

Севанские рыбзаводы до 1975 г. собирали ежегодно, как правило, около 70 млн икринок. В течение 1976–1984 гг. сбор икры гегаркуни уменьшился с 60,0 до 7,1 млн шт., летнего ишхана – с 12,0 до 0,06 млн шт. (рис. 74). Основной причиной уменьшения количества инкубируемой икры рыбзаводами следует признать некоторые естественные факторы [Оганесян, Джентереджян, 1981] и хроническое сокращение числа производителей, заходящих в период нереста в реки, вследствие отсутствия действенной охраны популяции форели в течение всего года [Смолей и др., 1985].

Сиг в озере Севан был акклиматизирован в целях более полной утилизации кормовых ресурсов (главным образом зоопланктона) и повышения рыбопродуктивности водоема [Фортунатов, 1927а, б; Павлов, 1947а, б; Маилян, 1957]. Все годы с момента акклиматизации сиги воспроизводились в озере только естественным путем. Эхолотные съемки [Оганесян и др., 1983] распределения сигов в период нереста позволили установить, что наиболее обширные по площади нерестилища находятся в юго-восточной части озера на глубинах 0,5–10 м [Тигранян, 1965; Пивазян, 1972]. В 1980-е гг. обнаружена развивающаяся сиговая икра и на более значительных глубинах [Рубенян, 1984].

Под влиянием эвтрофирования в условиях естественного воспроизводства сигов произошли существенные нарушения [Смолей, 1979, 1980; Южакова и др., 1984]. Косвенно об этом свидетельствуют пропуски самцами и самками нерестовых периодов, а также нарастание в популяции количества самок с невыметанной созревшей икрой с дальнейшей ее резорбацией [Смолей и др., 1979; Южакова и др., 1984]. В указанных условиях СГБС разработала биотехнику искусственного разведения сига в озере Севан.

В годы до понижения уровня воды храмуля размножалась естественным путем в озере и в реках [Владимиров, 1939; Малкин, 1970]. К основным ее нерестовым рекам относились Аргичи, Варденис, Цаккар, Дзкнагет, Мартуни, характеризующиеся преобладанием снегового питания (в форелевых реках – родниковое питание). В процессе понижения уровня условия размножения, развития икры и выживаемости молоди на ранних этапах онтогенеза храмули ухудшились как в озере, так и в реках, в связи с чем эффективность ее естественного воспроизводства снизилась [Смолей, 1986].

Питание. Характер питания севанских рыб изучали многие исследователи [Фортунатов, 1926; Арнольди, 1929; Тихий, 1938; Владимиров, 1939; Владимирова, 1947; Лещинская, 1950; Дадикян, 1955; Маилян, 1957; Чикова, 1962; Смолей, 1964, 1968а, б, 1986; Пивазян, 1972, 1977, 1979, 1984; Пивазян и др., 1973; Пивазян, Смолей, 1984].

Молодь всех севанских рыб питается, как правило, зоопланктоном, но пищевые отношения в этом периоде их жизни не являются конкурентными, поскольку они разобщены во времени и пространстве. Пищевое сходство между взрослыми лососевидными рыбами и храмулей отсутствует вследствие детритоядного характера питания последней.

До 1950–60-х гг. бокоплавы являлись излюбленным кормом форели, составляя в ее пищевом спектре около 90 %. В начале 1980-х гг. их роль в питании форели уменьшилась почти в 10 раз, при одновременном расширении спектра питания за счет личинок хирономид, воздушных насекомых и снижении величины индекса наполнения желудков с 60 до 15 %. Нарушение характера питания форели проходило при изменении трофического статуса озера: как уже отмечалось, начиная с 1978–1979 гг. первичная продукция

планктона снизилась, что повлекло за собой уменьшение продукции зоопланктона и зообентоса.

В условиях изменившейся кормовой базы сиги в литорали стали питаться моллюсками и хирономидами, из спектра их питания почти выпали бокоплавы, в то время как в 1975 г. они составляли более 80 % поедаемого корма. В пелагиали сиги в тот же период весенне-летнего нагула питаются исключительно зоопланктоном.

Величина одноразового приема пищи у сигов за сравниваемые годы уменьшилась в 2–3 раза, при этом в литорали, как и прежде, питаются все рыбы, в то время как в пелагиали 35–40 % исследованных особей имели пустые кишечники. Приведенные данные свидетельствуют о снижении интенсивности нагула, об ухудшении обеспеченности сигов пищей.

Снижение продуктивности зоопланктона и макрозообентоса в 1975–1983 гг. при сильном уменьшении биомассы наиболее доступных для севанских сигов и форелей кормовых объектов (гаммарусов и др.) привело к резкому сокращению в указанный период кормовой базы рыб и, соответственно, к существенному ухудшению состояния популяции сигов [Южакова и др., 1984]. В рассматриваемый период одним из наиболее насущных вопросов являлось прогнозирование кормовой базы рыб. При оценке изменений в кормовой базе необходимо иметь в виду тесную связь между уровнем трофности озера Севан и продуктивностью зоопланктона и зообентоса [Островский, 1984]. Принимая во внимание эту связь, можно заключить, что при неизменном уровне продуктивности озера Севан нельзя ожидать существенного улучшения кормовой базы рыб.

ГЛАВА 5
ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННОГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ ОЗЕРА СЕВАН И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ

Изменения в экосистеме под влиянием эвтрофирования

Водосборный бассейн в период до понижения уровня способствовал стабилизации гидроэкологических процессов в Севане на олиготрофном уровне. Он являлся поставщиком биогенных элементов (особенно азота) в таком количестве, которое поддерживало биомассу автотрофного звена экосистемы озера относительно постоянной.

Несмотря на большую разрозненность данных различных авторов, можно утверждать, что основные черты олиготрофного состояния экосистемы сохранялись вплоть до середины 1950-х гг. – третьего этапа искусственного понижения уровня озера.

При рассмотрении изменений, произошедших в экосистеме озера вследствие понижения уровня, следует иметь в виду, что эти изменения взаимосвязаны с процессом эвтрофирования, т.е. будучи результатом эвтрофирования, могут влиять на его интенсивность. Там, где возможно, мы указываем интервал времени, в течение которого произошли изменения.

Понижение уровня привело к радикальному изменению морфометрии озера (см. главу 4): уменьшению глубины и объема (табл. 60, 61). Эти изменения ярче выражены в Большом Севане. Выше уже отмечалась этапность в процессе понижения уровня. Отметим только, что наиболее значительное понижение уровня – 13 м – произошло на третьем этапе (1949–1962 гг.) за сравнительно короткий период – 14 лет (рис. 49).

После этого площадь водосборного бассейна увеличилась на 172 км^2, а его отношение к площади зеркала озера стало 2,93. Речной приток составлял 2,32 % от объема озера (0,780 км^3 от 33,8 км^3). Это означает, что значение естественного стока, т.е. степень влияния водосборного бассейна на озеро, увеличилось в 1,8 раза по сравнению с доспусковым периодом. После переброски р. Арпы (1982 г.) речной приток составлял 3,0 % от объема озера (1,020 км^3 от 33,8 км^3), а величина его увеличилась в 2,25 раза. В связи с этим усилилась потенциальная возможность воздействия водосборного бассейна на дестабилизированную экосистему озера Севан.

Изменение морфометрии озера привело к сокращению сроков температурной стратификации (рис. 59), особенно в Большом Севане, где период стратифицированных условий в пелагиали сократился вдвое.

При этом отношение объема гиполимниона к объему эпилимниона (табл. 82) в Малом Севане сократилось в 1,9, а в Большом Севане в 5,4 раза; соответственно на 1–2 и 3–5 градусов увеличилась температура наступления осенней циркуляции. Проточность озера увеличилась в 1,77 раза (время полного водообмена с 44,3 сократилось до 25 лет).

Процесс понижения уровня сопровождался снижением прозрачности в Большом Севане с 1949 г., а в Малом с 1955 г. – начало и середина третьего этапа. В конце 1970-х – начале 1980-х гг. (четвертый этап) в среднем за год прозрачность уменьшилась более чем в 4 раза (по сравнению с доспусковым периодом) (рис. 61). Резкие изменения произошли в гидрохимическом режиме озера Севан. Из водоема с аэрированным гиполимнионом озеро превратилось в водоем, в котором на протяжении большей части периода стратификации концентрация кислорода у дна близка к аналитическому нулю.

Ухудшение кислородного режима придонных слоев воды произошло в сравнительно короткие сроки – между 1970 и 1973 гг. В этот же период в придонных слоях воды появился сероводород.

Таблица 82. Изменения объема (км^3) эпилимниона ($V_э$) и гиполимниона ($V_г$) и их соотношения в Малом и Большом Севане на различных этапах понижения уровня озера

Годы	Малый Севан				Большой Севан			
	$V_э$	$V_г$	$V_г/V_э$		$V_э$	$V_г$	$V_г/V_э$	
Доспусковой период	9,7	9,7	1,00	1,00	21,6	17,4	0,81	1,00
1. 1933–1940	9,7	9,6	0,99	1,01	21,5	16,8	0,78	1,04
2. 1941–1948	9,5	9,2	0,97	1,03	21,3	15,6	0,73	1,10
3. 1949–1962	8,4	5,3	0,63	1,60	18,2	4,8	0,26	3,12
4. 1963–1982	8,2	4,8	0,58	1,72	17,4	3,6	0,21	3,86
5. 1982-1988	8,1	4,3	0,53	1,90	17,0	2,5	0,15	5,40

Развитие анаэробных условий у дна, будучи прямым следствием эвтрофирования – увеличением осаждения (органического вещества, фосфора) и поступления в водную толщу веществ со дна (аммонийного азота и т.д.), существенно изменило условия диффузии веществ из донных отложений, т.е. явилось эвтрофирующим фактором.

Значительно изменился режим основных биогенных элементов. Вода озера обогатилась соединениями минерального азота (рис. 75). Достоверно высокие концентрации минерального азота обнаруживаются с 1975 г.

Однако, по-видимому, рост концентрации минерального азота произошел раньше – с 1957 г. Этому, в частности, могло способствовать массовое развитие с 1964 г. азотфиксирующих водорослей рода анабена.

На протяжении всего процесса понижения уровня прослеживается уменьшение концентрации минерального фосфора (рис. 76). В 1980-е гг. концентрация минерального фосфора на порядок меньше, чем в доспусковой период.

Противоположно направленное изменение концентраций азота и фосфора, несомненно, привело к изменению режима биогенного питания фитопланктона.

Немаловажное значение для указанных процессов имела интенсификация хозяйственной деятельности в водосборном бассейне Севана, приуроченная к концу третьего и четвертому этапу понижения уровня, что явилось дополнительным мощным дестабилизирующим фактором внутриводоемных процессов.

В этот период произошел рост численности населения городов и сёл в бассейне Севана в 1,6 раза (158–253 тыс. чел.; плотность населения увеличилась с 40 до 67 чел./км^2). С 1960 г. начала интенсивно развиваться промышленность, количество сточных вод которой возросло от 0,0 в 1940 г. до 0,6 в 1960 г. и до 40 тыс. м^3/сут. в 1985 г. Развитие животноводства выразилось в увеличении численности скота и птицы в 3,18 раза (с 336 до 1070 тыс. голов). Площадь сельскохозяйственных угодий возросла в 3,26 раза (с 66 831 до 217 635 га) и составила 61 % от общего земельного фонда, площадь которого по сравнению с доспусковым периодом увеличилась всего на 3 %. Резко – в 9,5 раз – возросло применение минеральных и органических удобрений (с 37 до 350 тыс. т).

Расчеты показывают, что за этот период поступление азота и фосфора в озеро Севан с водосборного бассейна возросло примерно в три раза (азот с 1914 до 5602 т; фосфор с 107 до 304 т).

В этот период примерно в 2–3 раза также увеличилось количество биогенов, поступающих в озеро с атмосферными осадками.

С учетом всех составляющих внешнего поступления биогенов на четвертом этапе понижения уровня (1963–1982 гг. и до настоящего времени) ежегодно в озеро поступает от 5000 до 7000 т азота и от 200 до 400 т фосфора.

Общая внешняя нагрузка азотом и фосфором, поступающим с водосбора (табл. 33, 34; рис. 75, 76), на двух первых этапах не изменилась (по азоту 1,20–1,35; фосфору – 0,076 до 0,077 г/м^3×год). На третьем этапе (1949–1962 гг.) она увеличилась для азота в 2,0, а для фосфора в 1,8 раза; в течение четвертого этапа (1963–1982 гг.) и в дальнейшем как для азота, так и для фосфора возросла в 4,2 раза (по азоту – с 1,35 до 5,62 и фосфору – с 0,076 до 0,32 г/м^3×год).

Вследствие перечисленных выше причин изменилась связь фосфорной нагрузки с морфометрией и водообменом (рис. 77). Оценка трофности

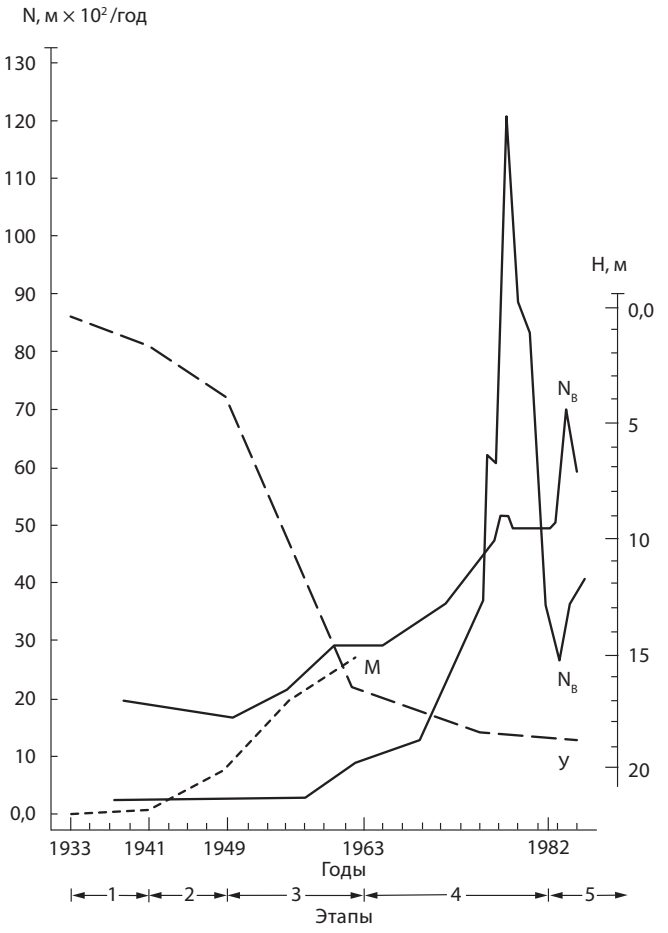


Рис. 75. Запасы (N_o) и поступление ($N_в$) азота в Севан на разных этапах понижения уровня (У); М – количество азота, вносимого за счет гибели макрофитов

Fig. 75. Nitrogen accumulation (N_o) in and inflow ($N_в$) into Lake Sevan at various stages of water level decrease (У); M – amount of nitrogen inflow due to the mortality of macrophytes

Севана по величине фосфорной нагрузки [Vollenweider, 1975] показывает, что на первом и втором этапах понижения уровня озеро принадлежало к олиготрофному типу (рис. 77, С1, С2). В течение третьего этапа (1949–1982 гг.) произошел переход к мезотрофному типу и до 1985 г. озеро характеризовалось как водоем мезотрофного типа (рис. 77, С3–С5).

Кроме роста поступления биогенных веществ, способствующих эвтрофированию, следствием развития экономики стало резкое увеличение количества выносимых в озеро токсических веществ (токсификация) – пестицидов (в сумме от 5 до 10 т/год) и тяжелых металлов (в сумме от 50 до 100 т/год).

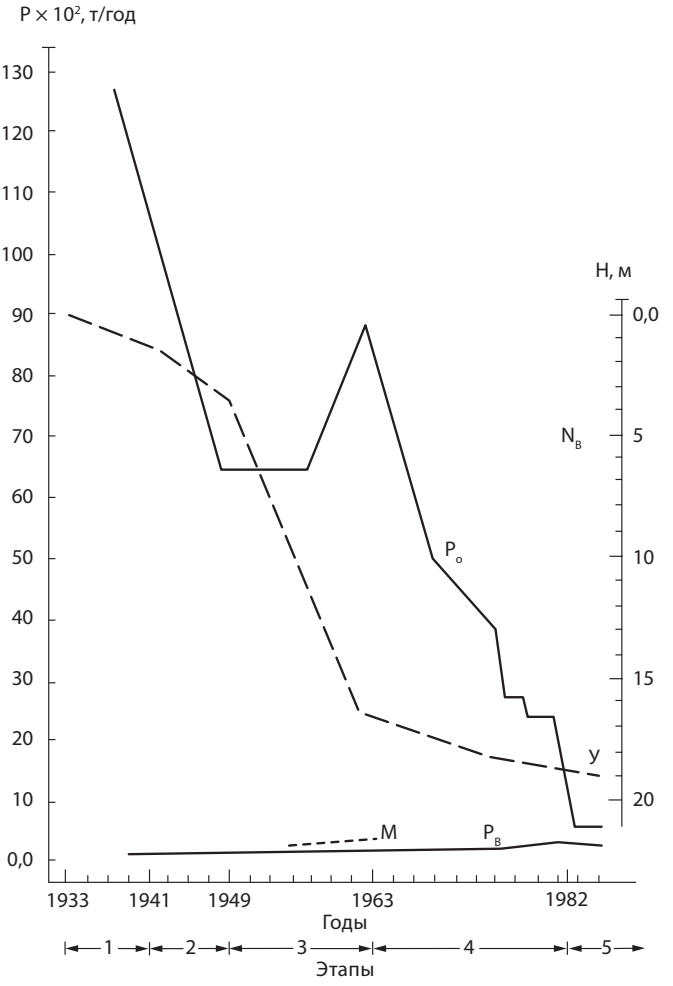


Рис. 76. Запасы ($P_о$) и поступление ($P_в$) фосфора в Севан на разных этапах понижения уровня

Fig. 76. Phosphorus accumulation ($P_о$) in and inflow ($P_в$) into Lake Sevan at various stages of water level decrease

В то же время, несмотря на существенные сдвиги во многих абиотических и биологических показателях, некоторые компоненты химического состава воды – pH, сумма ионов, перманганатная окисляемость – изменились незначительно.

Следствием понижения уровня Севана и усиления роли водосборного бассейна как поставщика биогенов и токсических веществ явилась коренная перестройка внутриводоемных процессов, трансформация структуры и динамики первичных продуцентов – одного из основных звеньев биотической части экосистемы.

Обнажение донных отложений (до 50–100 м в год), уменьшение прозрачности и усиление влияния прибоя привели к сокращению биомассы макрофитов в 30–40 раз [Покровская и др., 1983]. Гибель пояса макрофитов произошла в 1949–1962 гг. (третий этап) (табл. 75, 76, 77; рис. 75 (М)). Данный фактор явился одним из ключевых в цепи процессов, приведших к нарушению сбалансированности продукционно-деструкционных процессов в годовом цикле трансформации вещества и энергии.

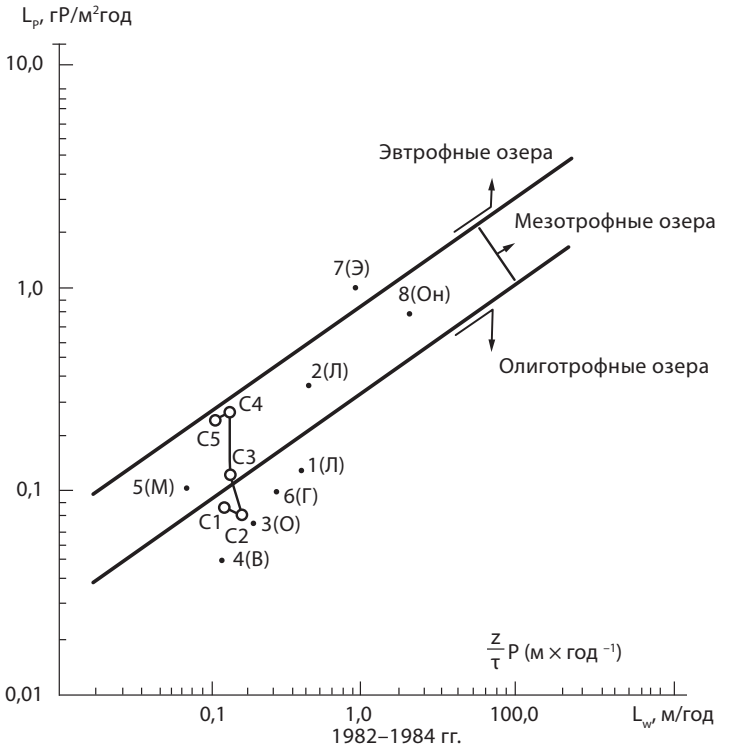


Рис. 77. Трофический статус озер в зависимости от фосфорной (L_p) и водной ($L_w = z/\tau$) нагрузок. (z – средняя глубина, τ – период водообмена [Vollenweider, 1975], Н С1–С5 – озеро Севан на различных этапах понижения уровня озера (наши данные): С1 – до 1940 г., С2 – до 1950 г., С3 – до 1965 г., С4 – до 1982 г., С5 – до 1985 г.

Остальные озера: 1(Л) – Ладожское, 1959–1962; 2(Л) – Ладожское, 1976–1979; О – Онежское [Расплетина, Гусаков, 1982]; В – Верхнее; М – Мичиган; Г – Гурон; Э – Эри; Он – Онтарио [Chapra, Sonzogni, 1979, цит. по: Расплетина, Гусаков, 1982]

Fig. 77. Connection between phosphorus load and trophic level of lakes depending on their hydrological parameters (z – mean depth; τ – water exchange period [Vollenweider, 1975]; C1–C5 – Lake Sevan at various stages of water level decrease (our data): 1 – until 1940; 2 – until 1950; 3 – until 1965; 4 – until 1982; 5 – until 1985

Other lakes: 1(Л) – Ladoga Lake, 1959–1962; 1(Л) – Ladoga Lake, 1976–1979; O – Onega Lake [Расплетина, Гусаков, 1982]; B – Superior; M – Michigan; Г – Huron; Э – Erie; Он – Ontario [Chapra, Sonzogni, 1979, cited according to Расплетина, Гусаков, 1982]

Резкое увеличение первичной продукции планктона, которое обычно рассматривается как одно из важнейших свидетельств эвтрофирования, произошло также в начале 1970-х гг. Достигнув очень больших значений в 1975–1978 гг., первичная продукция затем стабилизировалась на уровне, втрое превышающем значения, наблюдавшиеся в конце 1950-х гг. (рис. 78). Аналогично увеличилась биомасса фитопланктона (табл. 70). Состав планктонных водорослей значительно обогатился [Оганесян, Казарян, 1986], причем многие из вновь появившихся видов: из синезеленых – анабена и афанизоменон, из диатомовых – фрагилярия и др. – относятся к видам – индикаторам эвтрофирования.

Если в настоящее время можно говорить об известной стабилизации количественных показателей развития фитопланктона, то в структуре сообщества происходят непрерывные и непредсказуемые перестройки, что, по-видимому, свидетельствует о его дестабилизации.

Произошло значительное увеличение количественных показателей бактериопланктона, численность которых увеличилась втрое, а продукция достигает величин, сравнимых с первичной продукцией планктона. Последнее обстоятельство дает основание для предположений об интенсивных процессах хемосинтеза в воде озера [Тифенбах, Парпаров, 1986].

Развитие консументов оказалось тесно связанным с уровнем продуцирования автотрофного звена [Симонян, 1984; Островский, 1984; Смолей, 1986]. Увеличение первичной продукции планктона сопровождалось адекватным ростом продукции зоопланктона и макрозообентоса. Однако в обоих указанных сообществах рост продуктивности сопровождался заметными перестройками структуры – видовой сукцессией.

Так, в зоопланктоне резко увеличилась доля коловраток. Продукция дафний возросла.

В макрозообентосе доминирующей группой вначале (1978 г.) стали хирономиды, а затем – олигохеты. Развитие ранее доминировавших гаммарусов резко сократилось.

Рыбопродуктивность озера увеличилась почти вдвое (рис. 73), однако, как и в случае с низшими звеньями трофической сети, это произошло при одновременной видовой перестройке рыбного сообщества. Ихтиоценоз озера стал сиговым, популяция севанской форели резко сократилась.

Все описанные изменения характерны для водоемов, которые подвергаются антропогенному эвтрофированию (рис. 77).

Обсуждая особенности эвтрофирования озера Севан, целесообразно остановиться на вопросах стабильности его биотических сообществ, а также возможной обратимости процесса эвтрофирования и, как следствие, снижении его биологической продуктивности.

О стабильности экосистемы можно в определенной мере судить по повторяемости процессов, происходящих в озере, и их предсказуемости.

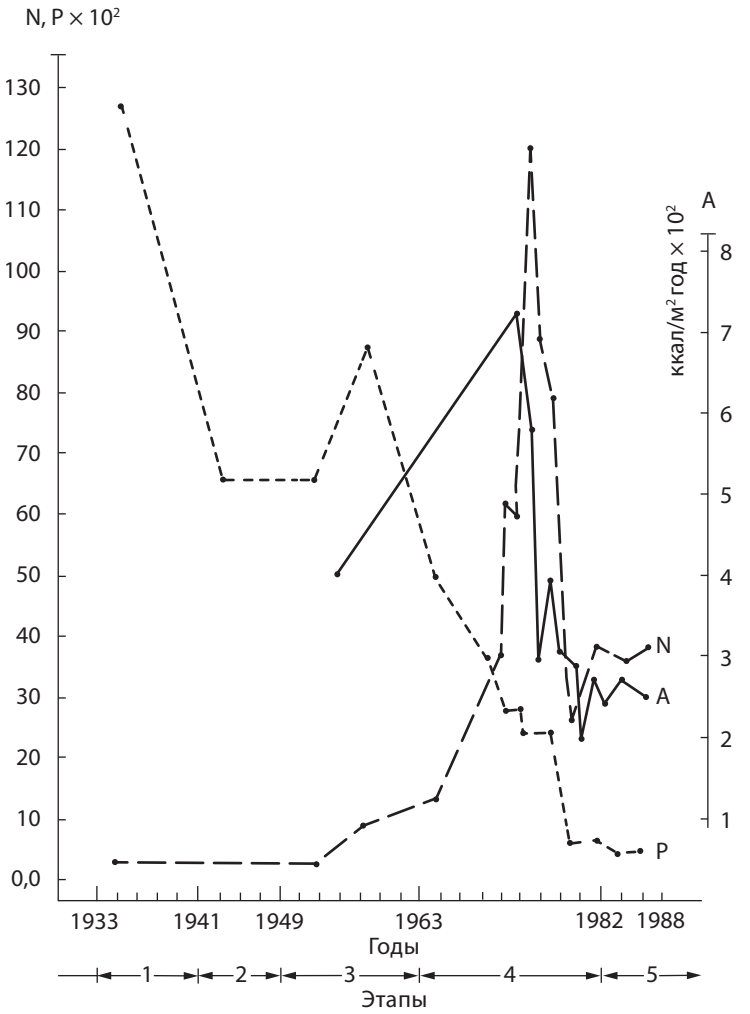


Рис. 78. Изменение первичной продукции планктона (A) и минеральных форм азота (N) и фосфора (P)

Fig. 78. Change in the primary production of plankton (A) and mineral forms of nitrogen (N) and phosphorus (P)

Нам известна единственная попытка количественной оценки стабильности фитопланктонного сообщества Севана [Никулина, Мнацаканян, 1984], приводящая к выводу, что за период с 1939 по 1981 г. «стабильность фитопланктонного сообщества сохраняется на том же уровне». Этот вывод основывается на анализе динамики отношения максимальной биомассы к минимальной за период с середины лета до середины зимы [Le Cren, Lowe-McConnell, 1980].

С нашей точки зрения, такой вывод не дает исчерпывающей характеристики стабильности сообщества продуцентов, так как в действительности в фитопланктонном сообществе Севана происходили постоянные и непредсказуемые перестройки. За 10 лет, начиная с 1974 года, пять раз доминирование в весеннем фитопланктоне переходило к новым видам [Оганесян, Парпаров, 1983]. После 50-летнего (за период наблюдений) доминирования диатомовых водорослей стали преобладать зеленые водоросли [Оганесян, Казарян, 1986].

Смена доминирующих видов в этот же период происходила в зоопланктоне [Симонян, 1984] и макрозообентосе [Островский, 1985].

К этому же периоду относятся изменения режима биогенных элементов – прогрессирующая убыль концентрации фосфора и изменение соотношения между отдельными формами растворенного азота (рис. 82).

Перечисленные факты свидетельствуют о том, что экосистема озера находится в дестабилизированном состоянии [Оганесян, 1984; Оганесян, Парпаров, 1986б]. Как проявление дестабилизированного состояния может рассматриваться также массовая гибель севанских сигов, имевшая место в 1983–1984 гг., обусловленная в основном сокращением их кормовой базы – внутриводоемными, а не экзогенными причинами (токсическим воздействием).

Принципиальная возможность уменьшения продуктивности Севана доказывается ходом годовой динамики первичной продукции планктона (рис. 78; табл. 84). Действительно, первичная продукция после очень высоких значений (7400 ккал/м^3×год) в 1975–1978 гг. существенно снизилась в 1983 и 1985 гг., но оставалась в 2–3 раза выше, чем ее значения в доспусковой период (рис. 78; табл. 71).

Процесс эвтрофирования озера Севан представляет уникальную возможность проследить динамику основных показателей состояния экосистемы при разнонаправленных изменениях трофности на одном и том же водоеме.

Представляется естественным сопоставить изменения первичной продукции планктона и некоторых функционально связанных с ней показателей состояния экосистемы в разные годы. Рассмотрение проводится применительно к Малому Севану, для которого имеются данные о первичной продукции в 1959 г. Очевидно, что аналогичные рассуждения могут быть проведены и для Большого Севана.

Увеличение первичной продукции озера сопровождалось заметным снижением прозрачности (рис. 79а). Последовавшее в малопродуктивные годы снижение первичной продукции вначале также сопровождалось увеличением прозрачности, однако после 1981 г. прозрачность вновь уменьшилась и в первой половине 1980-х гг. она (рис. 79а) значительно ниже, чем в 1976–1980 гг.

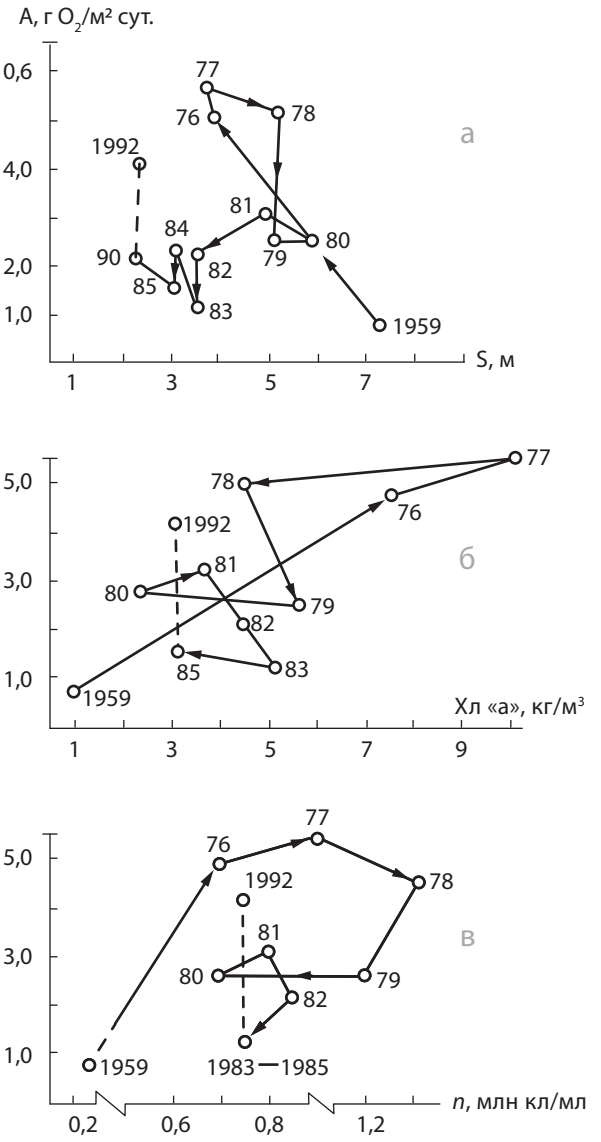


Рис. 79. Изменение среднегодовых величин первичной продукции планктона озера Севан (А) и других показателей в разные годы: (а) – прозрачность (S); (б) – хлорофилл «а»; (в) – численность бактерий (*n*)

Fig. 79. Change in the mean annual values of the primary production of plankton of Lake Sevan (A) and other indices in different years: (a) – transparency (S); (б) – chlorophyll-A; (в) – abundance of bacteria (*n*)

При изменениях трофности озера тенденция к обратимости процесса начиная с 1977 г. наблюдается в снижении содержания хлорофилла «а». Несмотря на значительные отклонения (рис. 79б), оно колеблется в 1978–1985 гг. вдоль средних значений 1959–1976–1977 гг.

Четко выраженный гистерезис показывает диаграмма «первичная продукция – численность бактерий» (рис. 79в).

Представленные на рисунке 79 диаграммы не противоречат известным общелимнологическим представлениям, т.е. уменьшение первичной продукции сопровождается увеличением прозрачности воды и уменьшением хлорофилла «а». Однако этот процесс происходит по траектории, отличной от первоначального процесса увеличения первичной продукции – эвтрофирования.

Наблюдаемый гистерезис является отражением инерционности происходящих в озерной экосистеме процессов [Оганесян и др., 1985а; Оганесян, Парпаров, 1986б]. Указать интервал времени, который потребуется для того, чтобы считать соответствующие процессы установившимися, на данном этапе невозможно.

Таким образом, совместное рассмотрение разнонаправленных изменений первичной продукции планктона и связанных с ней показателей состояния экосистемы свидетельствует, что процесс «олиготрофирования» Севана по многим важным показателям, во-первых, не является полностью обратимым, во-вторых, нельзя надеяться на то, что он в обозримой перспективе произойдет естественным путем [Оганесян, 1984; Оганесян, Парпаров, 1986].

Механизм эвтрофирования озера Севан

В настоящее время большинство лимнологов придерживается следующей точки зрения на механизм антропогенного эвтрофирования:

1. Антропогенное эвтрофирование является следствием несбалансированности круговорота биогенных элементов (обычно фосфора, реже – азота).

2. В результате антропогенного эвтрофирования происходит нарушение сбалансированности цикла органического вещества, вызванное увеличением первичной продукции [Винберг, 1960; Константинов, 1986; Россолимо, 1977; Сущеня, 1983, 1987].

При изучении антропогенного эвтрофирования обычно рассматривают следующую упрощенную цепь: внешнее поступление биогенных элементов – седиментация – удаление из донных отложений – сток из озера.

Выяснение механизма эвтрофирования озера Севан представляет теоретический интерес и необходимо для разработки мероприятий по замедлению этого процесса.

Большинство исследователей полагает, что усиление процесса эвтрофирования Севана вызвано изменением его морфометрии – понижением уровня [Легович, 1968, 1979; Оганесян и др., 1977а, 1985а]. При этом

предполагается, что изменение степени трофности озера связано с увеличением содержания азота, поступившего из придонных слоев вследствие усиления перемешивания.

Наряду с этим высказывались предположения об основной эвтрофирующей роли речного притока [Григорян и др., 1977; Легович, 1979]. Одним из основных аргументов указанных авторов является то, что загрязненность рек бассейна промышленными и бытовыми стоками существенно возросла одновременно с увеличением относительной роли речного притока из-за уменьшения объема озера (см. главу 3).

Исследования, выполненные нами, дают возможность проанализировать роль обоих этих факторов и позволяют расшифровать весьма сложный механизм эвтрофирования Севана [Оганесян, 1975, 1984, 1987; Оганесян, Парпаров, 1983, 1986а, б; Oganessian, 1978].

Снижение уровня создало возможность для вовлечения в круговорот биогенных элементов, ранее накопленных и захороненных в донных отложениях (в первую очередь азота). Полностью перешли во взвешенное состояние и затем минерализировались органические вещества, содержащиеся в донных отложениях (бывшей литорали до отметки 18,8 м). Стали доступны полному перемешиванию донные отложения, ранее находившиеся на глубинах 25–35 м, т.е. в зоне гиполимниона [Оганесян, 1984, 1987; Оганесян, Парпаров, 1986а, б; Оганесян и др., 1977а, 1985а].

Приведенные соображения подтверждаются динамикой отношения площади донных отложений, соприкасающихся с эпилимнионом ($S_д$), к объему эпилимниона ($V_э$). Показано [Fee, 1979], что эта величина, характеризующая разбавление веществ, поступающих в эпилимнион из донных отложений, связана с первичной продукцией планктона. На рисунке 88 представлена динамика отношения $S_д/V_э$, рассчитанная на 1 м понижения уровня в год [Оганесян, 1987]. Наличие двух выраженных максимумов в 1957 и 1963 гг. (рис. 80, БС и ОС) позволяет предположить, что условия для ускорения эвтрофирования озера возникли еще в 1957 г., однако возросшее поступление биогенных элементов из донных отложений до некоторой степени компенсировалось повышенной проточностью водоема (рис. 80, $\Delta V_о$). Очередное увеличение $S_д/V_э$ в 1963 г. произошло при существенном уменьшении попусков из озера и совпало по времени с началом «цветения» воды синезелеными водорослями (рис. 80, БС, ОС и $\Delta V_о$).

Вследствие изменения морфометрии возросла зависимость озера от поступления биогенных веществ с водосборного бассейна. Количественная оценка увеличения зависимости озера от его водосбора может быть дана на основании рассмотрения динамики индекса Керекеса – ИК [Kerekes, 1977]. ИК (рис. 81) представляет собой отношение объема озера (V; в 10^6 м^3) к длине его береговой линии (l, км). Чем больше ИК, тем в меньшей степени озеро зависит от водосбора. Наибольшими значениями ИК характеризуются большие глубокие озера (например, для Байкала ИК = 10 454).

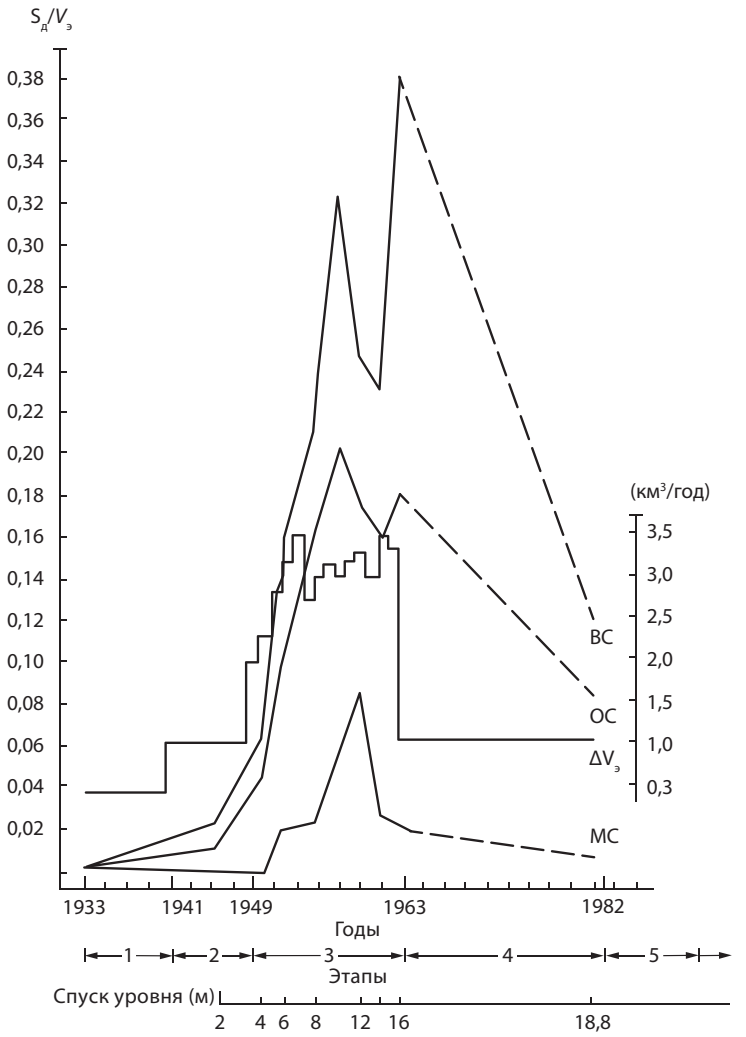


Рис. 80. Изменение отношения площади донных отложений, соприкасающихся с эпилимнионом ($S_д$), к объему эпилимниона ($V_э$) Малого (МС), Большого (БС) и Севана в целом (ОС) на различных этапах понижения уровня

Fig. 80. Change in ratio between the total area of bottom sediments adjacent to epilimnion ($S_д$) and the volume of epilimnion ($V_э$) of Minor Sevan (MC), Major Sevan (БС), and entire Lake Sevan (OC) at various stages of water level decrease

На рисунке 81 представлено изменение ИК в связи с понижением уровня озера для Малого и Большого Севана [Оганесян, Парпаров, 1983]. Уменьшение ИК (и, следовательно, увеличение влияния бассейна) в Большом Севане происходило почти линейно с понижением уровня. После снижения уровня на 19 м ИК для Большого Севана всего в 1,1 раза больше, чем для Малого (против 1,7 в доспусковой период).

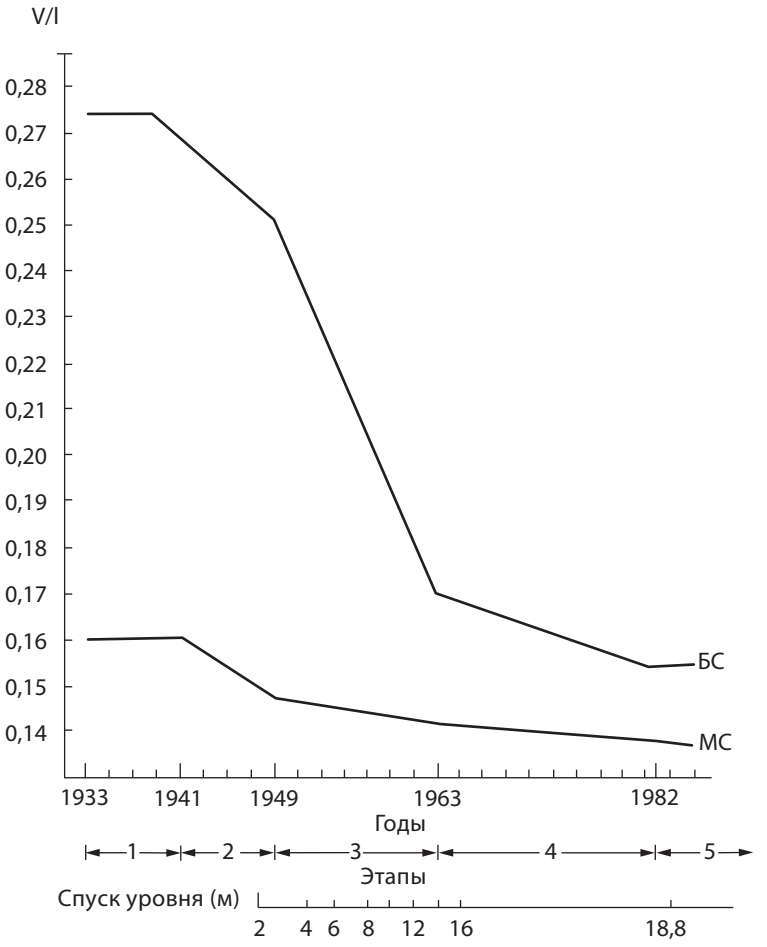


Рис. 81. Отношение объема озера (V) к длине (l) береговой линии (индекс Керекеса, 1977) на различных этапах понижения уровня Малого (МС) и Большого (БС) Севана
Fig. 81. Ratio between lake's volume (V) and the length (l) of the shoreline (Kerekes Index, 1977) at various stages of water level decrease in Minor Sevan (MC) and Major Sevan (БС)

Таким образом, увеличение зависимости от водосбора наиболее выражено в Большом Севане, куда поступает практически весь речной приток (рис. 8; табл. 20). Следует учитывать, что оно происходило при одновременном возрастании концентраций биогенных элементов в воде притоков и атмосферных осадков (см. Главу 3).

Важным фактором в процессе эвтрофирования, как было установлено, является гибель пояса макрофитов [Оганесян и др., 1977а; Oganessian, 1978; Оганесян, Парпаров, 1983, 1986а, б; Оганесян, 1987], оказавшая двоякое действие на режим биогенных элементов. Во-первых, быстрое разложение обнажившихся зарослей в прибойной зоне способствовало ускоренному

поступлению в водную массу дополнительных количеств биогенных элементов, во-вторых, существенно уменьшилась конкуренция с фитопланктоном за биогенные элементы, поступающие в литораль [Оганесян, Парпаров, 1986а, б].

Гибель макрофитов разрушила своеобразную защитную зону и еще более увеличила зависимость озера от водосбора [Покровская и др., 1983].

Макрофиты сыграли важную роль в нарушении баланса азота, установившегося веками. До понижения уровня общая биомасса макрофитов в озере достигала 930 400 т.

До 1941 г. (первый этап) за счет гибели и разложения макрофитов в озеро поступило 180 т, до 1940 г. (второй этап) – 700 т, а до 1963 г. (третий этап) – 2700 т азота (табл. 77, 78, 79).

Если даже не учитывать азот, поступающий с бывшего дна, ранее изолированного гиполимнионом, и сток с водосборного бассейна, то только гибель макрофитов сделала доступным такое количество азота, которого было достаточно для обеспечения быстрого возрастания биомассы фитопланктона и первичной продукции. Это стало причиной дальнейшего эвтрофирования Севана.

В это же время в озере начала преобладать гомотермия, произошло повышение средней температуры придонных вод, что, несомненно, повысило скорость минерализации органического вещества донных отложений, а следовательно, скорость и количество высвобождающегося азота в системе «дно – вода» (рис. 82).

Уменьшение объема гиполимниона, ухудшение зимней аэрации (частые ледоставы), гибель макрофитов, вовлечение в круговорот избыточных количеств азота из донных отложений, а также возрастающая роль водосборного бассейна как поставщика биогенных элементов, в дальнейшем (1963–1982 гг.) привели к увеличению биомассы фитопланктона в 10 раз (0,3–3,2 г/м^3) и его продукции в 7 раз (1000–7000 ккал/м^2×год), максимальные значения которых были достигнуты в 1976–1977 гг. (табл. 70, 71, 72; 84; рис. 78).

Развившееся в результате «цветение» воды синезелеными водорослями, которое наблюдалось с 1964 г. на протяжении более 10 лет (по меньшей мере, до 1978 г.), возможно, способствовало обогащению озера азотом в результате азотфиксации.

Рассмотрим возможные изменения круговоротов азота и фосфора в плане расшифровки механизма эвтрофирования озера Севан.

Следует сразу же оговориться, что предпосылки для количественного изучения круговорота азота и фосфора созданы только в 1980-е гг. Так, сведения о поступлении общих форм этих элементов с речным притоком имеются только с 1979 г., а с атмосферными осадками – с 1982 г. В 1982–1983 гг. получены первые экспериментальные оценки седиментации и диффузии азота и фосфора из донных отложений [Стравинская и др., 1984; Бояхчян, 1985].

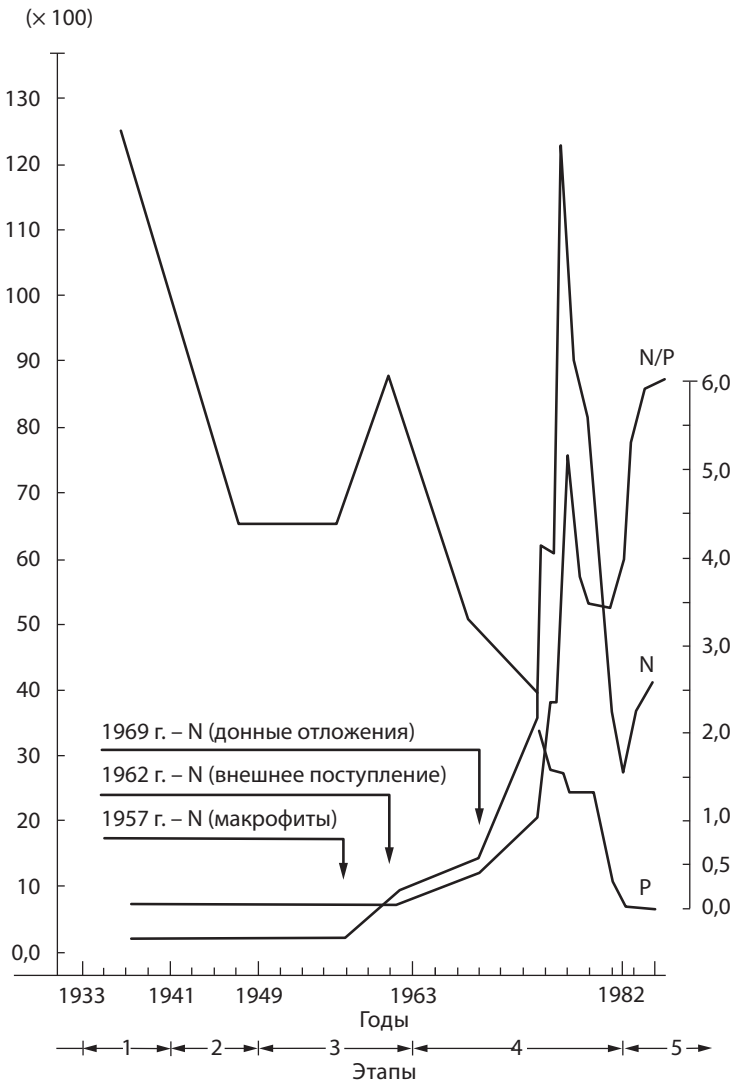


Рис. 82. Запас минеральных форм азота и фосфора (т/год), а также их соотношение в озере Севан на разных этапах понижения его уровня

Fig. 82. Accumulation of mineral forms of nitrogen and phosphorus (t/year), as well as their ratio in Lake Sevan at different stages of its water level decrease

Баланс азота и фосфора. Была сделана попытка составления балансов азота [Бабаян, 1984] и фосфора [Парпарова, 1985] в Севане по данным за 1982–1983 гг.

Проведенный нами анализ количеств азота и фосфора, поступающих от различных источников с водосборного бассейна (табл. 31), позволил уточнить баланс азота и фосфора в Севане в 1985–1986 гг.

Предварительная оценка основных составляющих баланса азота и фосфора в озере Севан показывает, что 63 % (13 054 т) азота, поступающего от различных источников, накапливается в озере, т.е. баланс азота положительный (табл. 83). Баланс фосфора, наоборот, отрицательный: его расход составляет 201 % от прихода (невязка – 1365 т). Количество азота, поступающего с водосборного бассейна, составляет 33,7 %, внутриводоемные источники – 66,3 % приходной части. Для фосфора эти соотношения соответственно равны 29 % и 71 % (табл. 83).

Таблица 83. Баланс азота и фосфора в Севане, усредненный за 1982–1985 гг. Статьи баланса 1, 4, 7 и 8 приводятся по данным Парпаровой [1985]; 5 – Стравинской и др. [1984]; 6 и 10 – Бабаян [1984]; 9 – Бояхчян [1985]; 2 и 3 – по нашим данным

№	Составляющие баланса	Азот		Фосфор	
		т/год	%	т/год	%
	Приход				
1	Речной приток	4000	19,3	180	13,3
2	Рассеянный приток	1100	5,30	105	7,8
3	Подземный приток	480	2,30	45	3,3
4	Атмосферные осадки	1400	6,80	65	4,8
5	Диффузия из донных отложений	9700	47,0	960	70,8
6	Азотфиксация	4000	19,3	–	–
Итого		**20 680**	**100**	**1355**	**100**
	Расход				
7	Сток через р. Раздан	440	5,6	20	0,70
8	Вынос с уловом рыбы	60	0,8	10	0,30
9	Седиментация	7000	92,0	2690	99,0
10	Биологическая денитрификация	126	1,6	–	–
Итого		**7626**	**100**	**2720**	**100**
	Невязка баланса	+13 054		–1365	

Таким образом, в обогащении вод озера Севан азотом более важное значение имеют внутриводоемные процессы, в меньшей мере – водосборный бассейн. Нужно учесть, что источники азота за счет внутриводоемных процессов – диффузия азота из донных отложений (47,0 %, табл. 83) и азотфиксация (19,3 %) – сами зависят от многих внешне- и внутриводоемных факторов. Так, например, диффузия азота из донных отложений в таких больших количествах объясняется нами вовлечением в круговорот азота, ранее захороненного в донных отложениях и изолированного

гиполимнионом до третьего этапа – интенсивного понижения уровня озера. Вероятно, со временем (начиная с 1987 г.) поступление азота за счет его диффузии из донных отложений уменьшается до определенного уравновешенного состояния между диффузией и седиментацией (рис. 75). Значительная (13 054 т) невязка в балансе азота объясняется еще и тем, что недостаточно исследован процесс выноса аммиака из водоема в атмосферу (биологическая денитрификация). По оценкам Ж.К. Бабаян [1984], на основании лабораторных исследований указанная величина составляет 126 т/год, что, по нашему мнению, занижено. Такого же мнения придерживается и автор исследования, который считает, что более интенсивное улетучивание аммония по сравнению с результатами лабораторных исследований обусловлено тем, что воды эпилимниона имеют щелочную реакцию и подвержены разнообразным циркуляциям, в частности ветровым. Подтверждением может быть тот факт, что летом в дождевой воде над акваторией озера концентрация общего азота (5,6 мг/л) в 5 раз выше, чем над территорией городов.

Отрицательный баланс фосфора отражает непрерывное уменьшение его концентрации в водах Севана (рис. 76).

Приведенный баланс азота и фосфора в озере Севан является ориентировочным и требует дальнейшего уточнения. Не исключено, что при относительной стабилизации внутриводоемных процессов и корректировке величин диффузии и седиментации, невязки в балансе азота и фосфора уменьшатся. Не исключено также, что указанные биогенные элементы в водах озера находятся в соединениях, которые нами не учитывались. Тем не менее анализ отдельных составляющих баланса азота и фосфора приводит к следующим заключениям:

1. Круговорот фосфора на протяжении ряда лет является несбалансированным. Об этом свидетельствует прогрессирующая убыль концентрации фосфора в озерной воде (рис. 76). То есть его убыль с речным стоком и в результате осаждения не компенсируется суммарным поступлением из донных отложений и с водосбора (табл. 83). На современном этапе количественно преобладают внутриводоемные процессы – седиментация и диффузия, тогда как поступление с водосбора и сток на порядок меньше этих величин. Однако в годы интенсивных попусков воды из озера (третий этап; 1949–1962 гг.), содержащей сравнительно более высокие концентрации фосфора, сток в р. Раздан играл большую роль в балансе фосфора.

2. Значительно сложнее интерпретировать соотношение между отдельными компонентами круговорота азота. Систематические сведения о динамике концентрации общего азота в озерной воде имеются только с 1982 г. Поэтому с уверенностью можно говорить лишь об увеличении концентрации минерального азота (рис. 75); аналогичного заключения об общих формах сделать нельзя. Изучение круговорота азота также выявило важную роль внутриводоемных процессов в формировании его режима.

В частности, фиксация азота из атмосферы оказалась одного порядка с поступлением азота с реками.

Попытки составления баланса азота указывают на значительное превышение приходных статей его баланса над расходными (табл. 83), в связи с чем выдвигается предположение о выходе азота из водной массы в атмосферу. Такая ситуация довольно редкая, тем не менее она описана для ряда озер. Детально этот механизм на озере Севан не изучен.

Вопрос о влиянии изменения соотношения между азотом и фосфором на первичную продукцию планктона может быть рассмотрен на основании анализа динамики минеральных форм азота и фосфора (отсутствие информации за достаточно длительный период не дает возможности проследить межгодовую динамику отношения N : P для общих и взвешенных форм). На протяжении довольно длительного периода, по крайней мере с 1959 по 1978 г., уменьшение концентрации минерального фосфора происходило при одновременном возрастании концентрации минерального азота, в силу чего отношение $N_{мин.}$: $P_{мин.}$ возрастало, достигнув в 1978 г. значения 5,0, а затем снизилось до 3,5 в 1982–1983 гг. (рис. 82). На этом основании можно предположить, что изменение соотношения между азотом и фосфором на определенном этапе способствовало повышению усвояемости этих элементов в высокопродуктивные годы. Продолжающийся рост отношения N : P (в связи с убылью содержания фосфора) привел к образованию менее благоприятных для фитопланктона условий, однако на качественно ином уровне – при значительно более высоком, чем ранее, отношении N : P (рис. 82).

Из изложенного следует, что отмеченные выше изменения биогенного режима, вызванные понижением уровня, были благоприятны для интенсификации биопродукционных процессов в озере и вызвали его эвтрофирование [Оганесян, Парпаров, 1986а, б; Оганесян, Парпаров, 1987].

Последствия эвтрофирования озера Севан для хозяйственного использования его водных и биологических ресурссов

Качество вод

Напряженный водохозяйственный баланс Армении, низкая водообеспеченность населения выдвигает на первое место интенсивное использование водных ресурсов Севана как крупного источника водоснабжения – особенно питьевой водой и для орошения. В ряде районов Армении, в том числе в Севанском бассейне, ощущается острый дефицит воды, которая становится лимитирующим фактором для развития ряда отраслей экономики. В 1980-е гг. на одного жителя Армении приходилось менее 2,7 тыс. $м^3$ воды в год, в то время как данный показатель в среднем по Советскому Союзу составлял 17 тыс. $м^3$ [Исаханов, 1984].

Озеро Севан, кроме того, является важным для республики рыбохозяйственным водоемом.

Поэтому качество вод Севана должно соответствовать требованиям таких видов водопользования, как:

а) централизованное и нецентрализованное хозяйственно-питьевое, а также промышленное водоснабжение;

б) рыбное хозяйство;

в) рекреация.

Роль Севана как источника хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения республики непрерывно возрастает. Сейчас озеро остается единственным перспективным источником водоснабжения Армении [Баграмян, 1973] и других республик Закавказья. В городах и поселках городского типа водопотребление на душу населения в 1980-х гг. составляет 50–150 л воды в день, в сельской местности – 10–75 л, тогда как в качестве ориентира для республики принято на одного жителя в городах 400 л, в поселках – 300 л, а в сельских местностях – 200 л в день.

В настоящее время разрабатываются проекты строительства водоводов из озера Севан в Ереван, а также в другие населенные пункты республики, в том числе расположенные в бассейне озера.

Севанские воды до определенного времени использовались местными жителями для питьевых и санитарно-бытовых нужд без ограничений, благодаря чистоте, прозрачности и высоким вкусовым качествам.

Накопленные к 1980-м гг. материалы (табл. 84) дали возможность провести с лимнологических позиций сопоставление качества вод Севана в разные периоды его эволюции и позволяют охарактеризовать основные изменения в зависимости от абиотических факторов – морфометрии, прозрачности, кислородного режима, химического состава вод – и биотических факторов – первичной продукции, деструкции органического вещества, увеличения численности бактерий и их активности.

По таким показателям, как сухой остаток, хлориды, сульфаты, общая жесткость, а также по концентрации хлора, кальция, железа, цинка, марганца, меди, кадмия, кремния, кобальта, никеля, ртути, свинца, ДДТ, хлорофоса, карбофоса и других пестицидов, качество севанских вод в период понижения уровня и до конца 1980-х гг. соответствовало требованиям питьевого и промышленного водопользования [ГОСТ 2761-84; Правила охраны … 1975; Беспамятнов, Кротов, 1985].

По гидрохимическим и гидробиологическим показателям (табл. 84) вода Севана до 1963 г., т.е. до конца третьего этапа понижения уровня, относилась к первому классу качества, характеризующему водоем как «очень чистый» [ГОСТ 17.1.3.07-82; ГОСТ 2761-84] или как «вполне чистый» по классификации В.Н. Жукинского и О.П. Оксиюк [1984], за исключеием pH. По указанным ГОСТам допускаются колебания pH 6,5–8,5, а в Севане значения водородного показателя колеблются со времени первого измерения

(в начале XX века) в пределах 8,7–9,2 (табл. 68). Очевидно, высокая величина pH является одной из специфических особенностей Севана.

На четвертом этапе понижения уровня (1963–1983 гг.), вследствие увеличения количества аллохотонного и автохотонного органического вещества и эвтрофирования водоема, качество вод озера ухудшилось [Оганесян, 1975; Оганесян, Парпаров, 1983; Оганесян и др., 1985а]. Это выразилось в увеличении показателя БПК, биомассы фитопланктона и численности бактерий. В рассматриваемый период $БПК_{полн.}$ достигло 2,1–3,3 мг×O_2/л, что по ГОСТу 2761-84 соответствует второму классу качества воды. Согласно эколого-санитарной классификации по $БПК_5$, качество воды варьирует между «удовлетворительно чистой» и «умеренно загрязненной» [Жукинский, Оксиюк, 1984]. Таким образом, величины БПК находились на пределе ПДК для хозяйственно-бытового водопользования [ГОСТ 17.1.3.07-82].

По биомассе фитопланктона (1,5–3,5 мг/л) вода озера на четвертом этапе соответствовала второму классу (до 5,0 мг/л, ГОСТ 2761-84) или «удовлетворительно чистой», от «достаточно чистой» до «слабо загрязненной» [Жукинский, Оксиюк, 1984]. По численности бактерий (1,0–2,1 млн кл/мл) озеро относилось к третьему классу качества вод (1,1–3,0 млн кл/мл) [ГОСТ 17.1.3.07-82] и находилось между классами «чистая» и «удовлетворительно чистая» [Жукинский и др., 1981; Оксиюк, Жукинский, 1983; Жукинский, Оксиюк, 1984].

Таким образом, в период интенсивного эвтрофирования качество вод озера ухудшилось и находилось между вторым [ГОСТ 2761-84] и третьим [ГОСТ 17.1.2.07-82] классами или соответствовало «удовлетворительно чистым» водам [Жукинский, Оксиюк, 1984], для питьевого использования которых требуется дополнительная очистка [ГОСТ 2761-84].

Начиная с 1984 г. происходило частичное улучшение качества воды. Она соответствовала второму классу, который характеризует воду как «чистую» [ГОСТ 17.1.3.07-82], но всё же требующую дополнительной обработки [ГОСТ 2761-84], или как «вполне чистую» [Жукинский, Оксиюк, 1984].

Таким образом, до четвертого этапа понижения уровня (до 1963 г.) по физическим, химическим и биологическим показателям вода озера Севан была вполне чистой и соответствовала требованиям хозяйственно-питьевого и промышленного водопользования. В дальнейшем в процессе эвтрофирования качество воды ухудшилось в результате загрязнения озера и его притоков. В конце 1980-х гг., после частичного улучшения качества воды, она стала пригодна для хозяйственно-питьевого водоснабжения только после дополнительной обработки.

Для улучшения питьевых качеств севанской воды необходимо предпринять конкретные меры по замедлению эвтрофирования и перестройке внутриводоемных процессов путем увеличения водной массы (подъема уровня), а также по сокращению выноса с водосборного бассейна

органических веществ, азота и фосфора, приближая их количество к количествам, поступавшим в озеро до понижения уровня [Оганесян, 1975, 1984, 1987; Оганесян, Парпаров, 1983, 1986а, б]. Необходимо также добиться полного прекращения поступления в Севан токсических веществ, оказывающих отрицательное воздействие на биологические процессы формирования качества воды.

Большое значение имеет качество вод Севана для ирригации, т.к. от общего количества попусков воды из озера 98 % используется на нужды орошения. Следует отметить, что показатели качества озерной воды свидетельствуют о ее ограниченной пригодности для нужд орошения. По М.Ф. Буданову [1984], вода пригодна для орошения при соотношении ионов $\frac{Na^+}{Ca^{2+}} \leq 1,0$. В озере Севан этот показатель ирригационной оценки равен 1,65. Это может привести к засолению больших площадей сельскохозяйственных земель, вследствие чего необходимы дополнительные количества пресной воды для борьбы с засолением, что до сих пор практикуется в Араратской равнине.

Неудовлетворительное качество воды для орошения связано также с ее высокой фоновой щелочностью (pH = 8,6–9,2, табл. 84), которая в результате эвтрофирования, вследствие интенсивного фотосинтеза фитопланктона возрастает.

С точки зрения пригодности для орошения, эвтрофирование не изменило качество вод по солевому балансу и минерализации (см. главу 3).

Изменения качества воды с точки зрения требований для рыбохозяйственного использования Севана по этапам понижения уровня аналогичны описанным выше для хозяйственно-бытового водопользования.

В 1980-е гг. по показателям прозрачности, растворенного кислорода, перманганатной окисляемости, по нитратам, аммонийному азоту, фосфатам, сульфатам, хлоридам и по микробиологическим показателям вода Севана соответствует ксеноолигосапробному типу водоемов, которые характеризуются как «чистые», пригодные для обитания лососевых и сиговых рыб [ГОСТ 17.1.2.04-77; Правила охраны … 1975 и дополнительный перечень к нему, № 130 от 17 декабря 1976 г.].

Критериям указанного ГОСТа и Правил не соответствуют показатели pH (по ГОСТу 6,5–8,5, в озере 8,7–9,2) и $БПК_5$ (по ГОСТу 2,1–3,0, в озере 1,5–2,3 мг O_2/л). По величинам pH и $БПК_5$ озеро Севан относится к бета-альфамезосапробным водоемам, где возможно развитие карповых и сомовых рыб.

Пригодность воды озера Севан для рыбохозяйственного использования подтверждается также по ПДК для тяжелых металлов, кроме железа (ПДК – 0,05, в озере 0,06 мг/л) и меди (ПДК – 0,001, в озере 0,003 мг/л), концентрации которых в 1,2 и 3,0 раза соответственно превышают ПДК. В пределах рыбохозяйственных ПДК находится также содержание пестицидов [Беспамятнов, Кротов, 1985; Правила охраны … 1975].

Таблица 84. Основные лимнологические показатели озера Севан

Год	Прозрачность по диску Секки, м	pH	Ареальный дефицит кислорода, г O_2/м²×сут.	NH_4^-, мг/л	NO_3^-, мг/л	Общий азот, мг/л	PO_4^{3-}, мг/л	Общий фосфор, мг/л	ПО, мгO_2/л	$\frac{БПК_5}{БПК_{полн.}}$
1937	11,9	9,2	–	0,0	0,0	–	0,32	–	2,1	–
1947–1948	14,3		–	–	–	–	0,12	–	2,2	–
1958–1960	7,3	8,7	0,51	0,20	0,0	0,83	0,15	–	3,0	–
1976	4,8	8,8	1,34	0,16	0,02	–	0,07	–	3,98	–
1977	4,1	8,8	2,02	0,10	0,16	–	0,08	–	–	–
1978	–	8,7	–	0,13	0,22	–	0,07	0,10	–	–
1979	4,1	8,7	–	0,12	0,14	–	0,06	–	–	–
1980	3,7	8,7	1,07	0,11	0,13	1,42	0,06	0,10	–	–
1981	3,2	8,7	1,52	–	–	–	–	–	–	–
1982	3,4	8,8	1,60	0,07	0,03	0,81	0,03	0,07	2,4	$\frac{1,5}{2,1}$
1983	2,7	8,6	1,75	0,06	0,02	0,87	0,02	0,05	2,8	$\frac{2,3}{3,3}$
1984	2,9	8,7	1,23	0,10	0,01	0,90	0,02	0,07	–	–
1985	3,0	8,7	1,20	0,11	0,01	0,85	0,02	0,06	–	–
1986	2,7	8,6	–	0,098	0,015	0,905	0,023	0,062	2,74	8,60
1987	2,8	8,6	–	0,086	0,011	0,870	0,023	0,059	2,90	1,88
1988	3,2	8,2	–	0,090	0,010	0,840	0,014	0,042	3,32	1,13
1989	2,6	8,5	–	0,234	0,011	1,00	0,017	0,046	3,98	1,56
1990	–	8,5	–	0,118	0,0068	1,05	0,021	0,067	3,86	1,48
1991		8,6		0,093	0,0096	0,99	0,017	0,054	3,82	

Окончание табл. 84

Год	Первичная продукция,		Биомасса фитопланкто-на, г/м³	Численность бактерий, млн кл/мл	Гетеротроф-ная ассимиля-ция, г С/м²×год	Зоопланктон	Зообентос
	г O_2/м²×сут.	ккал/м²×год				(P_2; ккал/м²×год)	
1937	–	–	0,3	–	–	160	–
1947–1948	–	–	0,30	–	–	220	–
1958–1960	0,81	1000	0,4	0,4	0,0	130	–
1976	5,69	7070	3,2	2,1	–	190	–
1977	5,98	7400	2,2	1,7	–	250	–
1978	4,59	5700	1,1	1,5	–	260	49,4
1979	2,46	3060	1,8	1,0	15,7	300	–
1980	3,20	4000	3,5	1,1	12,8	160	–15,5
1981	2,57	3200	1,5	1,2	–	130	–
1982	2,40	3000	2,7	1,0	–	100	–
1983	1,67	2070	3,8	1,0	–	150	–0,8
1984	2,38	2900	–	–	–	–	–
1985	1,58	1975	–	–	–	–	–
1986	2,51	–	2,26	1,4	–	510	–
1987	2,09	–	1,56	1,0	–	350	–
1988	1,26	–	1,87	1,3	–	210	–
1989	2,36	–	1,31	1,0	–	–	–
1990	–	–	–	1,0	–	–	–

К величине pH 8,7–9,2 севанские рыбы адаптировались, т.к. pH не менялся десятилетиями, а величину $БПК_5$ необходимо уменьшить, ограничивая поступление аллохтонного и продукцию автохтонного органического вещества.

Водоохранные мероприятия могут способствовать восстановлению качество вод Севана до уровня, пригодного для обитания ценных пород рыб – форели и сига.

Рыбопродуктивность

Озеро Севан является одним из важных источников снабжения республики рыбой, в первую очередь ценной – севанским сигом, а также карповой рыбой – храмулей. Озеро причисляется к наиболее ценным рыбопромысловым водоемам СССР и имеет важное значение для форелевого хозяйства страны.

Изменения экосистемы озера Севан, вызванные эвтрофированием, с точки зрения рыбного хозяйства неоднозначны. С одной стороны, эвтрофирование привело к увеличению кормовой базы рыб и рыбопродуктивности водоема. Даже после замедления эвтрофирования в последние годы и массовой гибели сигов, рыбопродуктивность озера остается выше, чем в доспусковой период. С другой стороны, увеличение рыбопродуктивности достигнуто за счет вселенца – сига, тогда как эндемичная севанская форель находится на грани исчезновения (рис. 73) и внесена в Красную книгу СССР.

В последние годы ухудшение состояния кормовой базы оказывает определенное воздействие на популяцию севанского сига. Уменьшение его накормленности повлекло за собой ухудшение основных биологических показателей: темпа весового и линейного роста, плодовитости, упитанности, жирности [Смолей, Пивазян, 1983; Смолей и др., 1985]. В течение последних 5 лет размеры двухгодовиков уменьшились по длине с 34,5 до 31,1 см и по весу с 586 до 344 г. Изменения размеров у рыб старших возрастов аналогичны, но более значительны. Содержание жира в мышцах нагульного сига в 1983–1984 гг. в среднем для популяции стало составлять 1,6 % сырого веса рыбы (максимум 2,8 %) против 5,4 (максимум 16 %) в середине 1970-х гг.

В сравнении с 1975 г. абсолютная плодовитость сигов всех размеров значительно уменьшилась: с 23,4 тыс. икринок до 8,7 [Смолей, Южакова, 1979; Южакова и др., 1984].

У храмули в последние годы прослеживается увеличение изменчивости показателей роста, плодовитости, упитанности [Смолей и др., 1985; Смолей, Пивазян, 1983].

Наряду с изменением биологических показателей сига наблюдалось изменение структуры его популяции. В течение 1977–1980 гг. в уловах

происходило увеличение числа впервые нерестующих особей, что являлось показателем нарастания интенсивности промысла [Южакова, 1979; 1985; Смолей и др., 1985].

Оценка численности и биомассы популяции сига разными методами (метод Тюрина, метод теории динамического запаса и по имитационной модели) показала, что к 1980 г. численность сига равнялась 16–28 млн экз. при биомассе 7–13 тыс. т. Летом 1983 г. гидролокационным методом (ИБВВ АН СССР) биомасса сига оценена в 9–12 тыс. т [Южакова, 1979; Южакова, Снетков, 1982, 1983; Поддубный и др., 1982; Михайлов и др., 1985; Малинин и др., 1984; Смолей и др., 1985].

В период увеличения естественной смертности сигов (1980–1984 гг.), согласно экспертной оценке СГБС (10–30 кг/га), биомасса популяции сига могла снизиться на треть.

Анализируя возможные причины массовой гибели сигов, СГБС исходит из примата внутриводоемных процессов, приведших вначале к увеличению первичной и вторичной продукции, а затем к их снижению. Следствием указанных процессов должно было стать уменьшение рыбопродуктивности озера. Причинно-следственная связь увеличения естественной смертности сигов при уменьшении кормовой базы подтверждается результатами математического моделирования популяции сига озера Севан Ленинградского научно-исследовательского вычислительного центра АН СССР, СГБС АН Армении, Института эволюционной морфологии и экологии животных имени А.Н. Северцова [Михайлов и др., 1983, 1985].

Структура популяции храмули, второй промысловой рыбы озера, в течение 1980–1984 гг. не претерпела существенных изменений, оставаясь в пределах годовых флуктуаций [Смолей и др., 1985]. До начала понижения уровня общая рыбопродуктивность не превышала 10 кг/га (рис. 73), т.е. озеро по этому показателю стояло в одном ряду с субальпийскими олиготрофными водоемами, а в его уловах доминировала форель [Смолей, 1961]. В процессе эвтрофирования водоемов, сопровождающегося увеличением продуктивности всех звеньев трофической сети, рыбопродуктивность, как правило, тоже растет, но ценность уловов падает. К началу 1980-х гг. рыбопродуктивность озера Севан увеличилась в 2–2,5 раза, доминантой стали вселенцы – сиги (рис. 73).

В течение 1980–1984 гг. в озере произошло снижение общей рыбопродуктивности (в основном по сигу), что явилось следствием экологических процессов, приведших к уменьшению продуктивности водоема в целом.

Была предпринята попытка [Смолей, 1986] косвенно оценить рыбопродуктивность озера, исходя из прямой корреляции между первичной продукцией и рыбопродуктивностью, рассматриваемой в виде вылова, согласно уравнению регрессии [Бульон, Винберг, 1981].

В 1976–1978 гг. первичная продукция равнялась 6740 ккал/м^2×год; рассчитанная по уравнению рыбопродуктивность в среднем составляла

9,7 ккал/м^2×год (или 60 кг/га при калорийности сига 1600 ккал/кг и площади озера 1200 км^2). В 1982–1984 гг. при первичной продукции 2650 ккал м^2×год, рыбопродуктивность снизилась до 4,0 ккал/м^2×год (или 40 кг/га, при уменьшении калорийности сига до 1000 ккал/кг). Следовательно, снижение первичной продукции планктона и падение калорийности сига, доминирующего в рыбном сообществе, должны привести к уменьшению рыбопродуктивности, выраженной в кг/га, в среднем на одну треть [Смолей, 1986].

Таким образом, состояние запасов севанских рыб может быть охарактеризовано следующим образом [Смолей и др., 1985]:

1. Популяция севанской форели находится в крайне напряженном состоянии. Искусственное воспроизводство на рыбзаводах резко сократилось, вид «севанская форель» объявлен заповедным и внесен в Красную книгу СССР.

2. В популяции сига в условиях возросшей промысловой нагрузки стала прослеживаться тенденция к уменьшению численности, о чем свидетельствует значительное омоложение возрастного состава. Причинами являются ухудшение способности к воспроизводству и обеспеченности пищей. Представляется целесообразным начать искусственное разведение сига в производственных масштабах.

3. Популяция храмули находится в удовлетворительном состоянии; обеспеченность рыб пищей стабильно высокая. Для увеличения численности храмули необходимы мероприятия по повышению эффективности ее естественного и искусственного воспроизводства.

Увеличение рыбопродуктивности вследствие эвтрофирования озера не является устойчивым; так как процесс эвтрофирования приводит к ускорению накопления вещества, вследствие чего развитие ихтиофауны начинает лимитироваться условиями воспроизводства и происходит замена более ценных рыб на менее ценные [Винберг, 1972; Одум, 1975; Решетников, 1980]. Кроме того, изменение некоторых абиотических факторов, а также развитие анаэробной зоны в гиполимнионе, появление там сероводорода и метана (по ГОСТ 17.1.2.04-77 наличие сероводорода и метана не допускается) значительно сократило ареал обитания рыб в летний период [Оганесян и др., 1977б, 1979]. Таким образом, результатом эвтрофирования озера стало ухудшение условий обитания ценных пород рыб.

Комплексное использование озера Севан

Бассейн Севана богат природными ресурсами, что дает возможность превратить его в один из основных регионов санаторно-курортного комплекса республики [ГОСТ 17.1.5.02-80; Правила охраны … 1975]. Велика роль озера как объекта массового отдыха и туризма. В 1980-х гг. ежегодно озеро посещало 50–100 тысяч человек, преимущественно в летние

месяцы. Однако вследствие эвтрофирования и ухудшения качества вод рекреационная ценность Севана снизилась. Это имеет и негативные социально-культурные последствия, важные для престижа Армении, поскольку озеро пользуется мировой известностью.

Бесхозяйственное использование и загрязнение вод озера и его притоков в значительной мере объясняется отношением к нему как к бесплатному дару природу. Поэтому для рационального водопользования следует рассмотреть вопрос о введении платы как за забор, так и за сброс сточных вод. При этом размер платы необходимо дифференцировать в зависимости от объема и степени загрязненности сточных вод.

Разработка научных основ управления ресурсами Севана невозможна без разработки критерия оптимальности, учитывающего как экологические аспекты севанской проблемы, так и социально-экологические показатели [Оганесян и др., 1977а; Оганесян, Парпаров, 1986б]. При этом необходимо учитывать разнонаправленность последствий антропогенного воздействия.

Наблюдаемое в 1980–1985 гг. устойчивое замедление процесса эвтрофирования не привело к немедленному улучшению качества воды для питьевого водоснабжения. Действительно, такие показатели, как прозрачность, содержание хлорофилла «а» и взвешенных веществ, кислородный режим в придонном слое остаются на уровне высокопродуктивного периода. Напротив, кормовая база рыб уменьшилась почти синхронно с уменьшением первичной продукции (табл. 84). Как уже отмечалось, это свидетельствует о наличии некоторого гистерезиса для ряда показателей при разнонаправленных изменениях трофности озера (рис. 79).

Исходя из императива устойчивого развития севанского региона, эксплуатация ресурсов озера должна вестись таким образом, чтобы обеспечить нормативное качество вод для питьевого водоснабжения и максимальную продуктивность основных промысловых видов – форели и сига [Оганесян и др., 1977а].

ГЛАВА 6
МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАМЕДЛЕНИЮ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ОЗЕРА СЕВАН

Пути снижения эвтрофирования

Поскольку антропогенное эвтрофирование проявляется прежде всего в увеличении продуктивности автотрофного звена вследствие обогащения водоема биогенными элементами, то мероприятия, необходимые для замедления этого процесса, должны быть направлены на ограничение их поступления [Россолимо, 1977; Shindler, 1978].

Наиболее распространенной мерой борьбы с эвтрофированием является предотвращение или ограничение смыва содержащих биогенные элементы соединений с поверхностным и речным стоком. Имеются положительные примеры, когда отведение сточных вод способствовало улучшению качества воды: озеро Вашингтон [Edmonds, 1972], озеро Норвиккен [Ahlgren, 1978а, б] и др.

Однако в последние годы появились примеры того, что уменьшение внешней нагрузки азотом и фосфором приводило к мобилизации этих элементов из донных отложений, вследствие чего концентрация этих элементов в водоеме заметно не снижалась [Мартынова, 1984; Ryding, Forsberg, 1977; Nurnberg, Peters, 1984].

Рассмотрим возможные пути уменьшения биогенной нагрузки на Севан. Анализ балансовых соотношений для азота и фосфора (табл. 33) показывает следующее:

1. Заметное уменьшение поступления фосфора с водосбора, скорее всего, может оказать существенное влияние на режим этого биогенного элемента, так как величина внешней нагрузки и запасы фосфора в озере одного порядка (рис. 76).

2. Уменьшение внешней нагрузки азотом возможно только при значительном сокращении масштабов применения удобрений и животноводства в бассейне озера. Даже если бы это удалось осуществить, то не были бы затронуты такие важные источники азота, как атмосферные осадки, диффузия из донных отложений и азотфиксация.

В этой же связи необходимо отметить, что кольцевой канализационный коллектор (строительство которого планируется) позволит уменьшить

внешнюю нагрузку биогенными элементами не более чем на 30 %. Как было показано выше на примере переброски р. Арпа, экосистема озера Севан в значительной степени устойчива к таким изменениям. Ввод кольцевого коллектора в основном будет способствовать улучшению санитарного состояния озера [Оганесян, 1975].

Таким образом, для замедления эвтрофирования озера Севан необходимо управляющее воздействие, способное одновременно увеличить устойчивость озера к влиянию водосбора и уменьшить поступление биогенных элементов из внешних и внутренних источников [Оганесян, Парпаров, 1986а].

В предшествующих главах рассматривался вопрос оценки устойчивости экосистемы Севана к влиянию со стороны водосборного бассейна. Интегральным показателем служит здесь индекс Керекеса (рис. 81), свидетельствующий о значительном уменьшении устойчивости Большого Севана вследствие понижения уровня [Оганесян, Парпаров, 1983].

Тем не менее устойчивость экосистемы Малого и Большого Севана, как и озера в целом, к влиянию водосборного бассейна остается достаточно высокой. Данное положение подтверждается следующими соображениями:

1. Несмотря на то, что 24 из 28 притоков озера и, соответственно, 79 % объема стока поступает в Большой Севан (табл. 20), отсутствует выраженный градиент химического состава воды по направлению от Большого к Малому Севану. По-видимому, выравнивание концентраций происходит под влиянием ветрового перемешивания.

В водоемах, где внешнее поступление играет решающую роль, выравнивающее воздействие перечисленных факторов не имеет места. Так, в мелком, постоянно перемешиваемом ветрами озере Балатон концентрация фосфора в районе, прилегающем к бассейну р. Зала, постоянно превышает величину, наблюдаемую в противоположном районе озера [Herodek, 1983]. Аналогичная картина наблюдается в одном из Великих озер США – Эри, где годовое поступление фосфора составляет 250 % от его запаса в озере [Burns, 1976].

2. Как следствие отсутствия градиента химических компонентов, между Малым и Большим Севаном не наблюдается также выраженного трофического градиента. Не выявлено достоверных различий между пелагическими районами Большого и Малого Севана по первичной продукции, содержанию хлорофилла «а» [Парпаров, 1979в], развитию зоопланктона [Симонян, 1983] и т.д.

3. Заметное увеличение (на 25 %) биогенной нагрузки вследствие переброски в Большой Севан части стока р. Арпа не привело к изменениям химического состава озера.

Таким образом, можно говорить о сохранении известной устойчивости экосистемы озера Севан к влиянию его водосборного бассейна.

Однако необходимо иметь в виду, что устойчивость экосистемы озера по ряду причин имеет тенденцию к снижению. Основными причинами являются:

– убыль концентрации фосфора в воде;

– увеличение бассейна Севана за счет водосборов перебрасываемых рек (рис. 21). После переброски р. Арпа водосборный бассейн озера увеличился на 241 км^2;

– интенсификация хозяйственной деятельности в бассейнах озера Севан и перебрасываемых рек (см. главу 3).

Учитывая сказанное, мероприятия по замедлению эвтрофирования озера Севан должны быть направлены на ограничение антропогенного воздействия со стороны его водосборного бассейна [Оганесян, Парпаров, 1986б].

Это возможно осуществить двумя путями:

1) снижением поступления биогенов с водосбора;

2) увеличением водной массы озера (подъем уровня).

Было показано, что в эвтрофировании озера Севан в связи с понижением его уровня наряду с аллохтонными источниками важная роль принадлежит внутриводоемным процессам поступления биогенных соединений. Поэтому эффективным мероприятием в этих условиях является искусственный подъем уровня озера.

Известна общая тенденция к уменьшению трофности водоемов при увеличении их средней глубины [Йоргенсен, 1985]. Очевидно, что те же механизмы, которые действовали по принципу положительной обратной связи при понижении уровня, будут действовать при его поднятии.

Действительно, подъем уровня озера приведет к увеличению площади и объема и, следовательно, увеличит устойчивость к влиянию водосбора (рис. 81). Одновременно следует ожидать образования устойчивой температурной стратификации в Большом Севане, понижения температуры гиполимниона, улучшения кислородного режима, уменьшения возможностей конвективного перемешивания, что создает условия, препятствующие поступлению биогенов из донных отложений [Оганесян, Парпаров, 1986а; Оганесян, 1987].

По своим экологическим последствиям искусственный подъем уровня озера аналогичен удалению слоя донных отложений – наиболее радикальному средству борьбы с эвтрофированием [Janus, Vollenweider, 1984], практически неприменимому для таких крупных озер, как Севан.

Технически возможность осуществления искусственного подъема уровня озера означает создание положительного водного баланса – превышение в течение длительного времени суммы приходных составляющих над расходными. Анализ водного баланса озера (табл. 64) показывает, что за исключением подземного притока и стока все компоненты баланса в принципе могут быть подвергнуты управляющему воздействию.

Так, в 1960 г. рассматривался проект о покрытии поверхности Севана мономолекулярной пленкой [Мешкова, 1966] с целью уменьшения испарения с его поверхности. Этот проект был отвергнут, поскольку нарушение естественного обмена на границе «вода – атмосфера» могло привести к резкому ухудшению условий обитания гидробионтов.

Наиболее перспективным представляется подъем уровня озера за счет длительного превышения притока в озеро над стоком из него.

В настоящее время принят следующий план поднятия уровня:

– увеличение речного притока в озеро посредством перераспределения стока рек бассейна р. Куры (в озеро переброшена часть стока р. Арпы; см. рис. 21);

– уменьшение стока в Раздан путем строительства системы водохранилищ для нужд орошения.

Осуществление переброс в Севан содержит угрозу дополнительного увеличения нагрузки биогенными элементами, поэтому необходимы также мероприятия на водосборах перебрасываемых рек для предотвращения поступления дополнительного количества азота и фосфора.

Разработка и применение математической модели динамики эвтрофирования озера Севан

Сложность и своеобразие процессов, протекающих в экосистеме озера Севан, необходимость разработки экологического прогноза состояния экосистемы на основе ее анализа как единого целого, естественно, приводят к необходимости использования математического моделирования для решения гидроэкологических задач.

Несмотря на значительное количество математических моделей экосистем внутренних водоемов [Умнов, 1973, 1986; Иванищев, Михайлов, 1984; Иконников, Умнов, 1985; Йоргенсен, 1985; Селютин, 1986], область математического моделирования экосистем больших озер нельзя считать достаточно разработанной. Математическое моделирование экосистемы озера Севан находится только на начальном этапе. По-видимому, на этом этапе существенная польза может быть получена на основе использования простейших моделей отдельных блоков экосистемы. Такой подход позволяет апробировать концепции, положенные в основу модели, сравнительно быстро выявить перспективные направления развития, оценить параметры уравнений [Jorgensen et al., 1986].

Кроме того, следует учесть, что инженерно-экологические модели, которые разрабатываются для целей управления экосистемами, должны быть простыми и удобными для практического применения.

Модель такого рода была использована автором [Оганесян, Ушканова, 1987] для оценки возможного влияния на процессы биологического продуцирования изменений внешней биогенной нагрузки и морфометрии озера.

Работа выполнена совместно с сотрудниками НИИ механики и прикладной математики Ростовского госуниверситета В.В. Селютиным и Е.В Ушкановой, которым автор выражает свою искреннюю благодарность.

В качестве центрального объекта моделирования выбрана первичная продукция фитопланктона – основной показатель, зависящий от трофности водного объекта и определяющий его динамику [Оганесян, Ушканова, 1987].

Модель включает 5 переменных (функциональная блок-схема модели приведена на рис. 83), характерное время изменения которых определяется параметрами внешнего обмена и имеет порядок нескольких лет или десятков лет:

1. Лабильный (т.е. усвояемый автотрофными организмами) азот Q_N – переменная, объединяющая основные формы минерального азота (нитраты, нитриты и аммоний) и азот, входящий в состав легкоминерализуемого органического вещества (определяемого, например, по $БПК_{полн.}$)

2. Лабильный фосфор (Q) – определяется аналогично азоту.

3. Водный гумус (Y) – в эту переменную входят трудноокисляемые фракции органического вещества (ОВ). Принимая определенное соотношение $C : N : P$ в гумусе (в модели он задается в единицах $C_{орг.}$), можно рассчитывать концентрации связанного с ним азота и фосфора.

4. Азот в активной части донных отложений и придонного слоя воды (B_N).

5. То же – фосфор (B_P).

Разделение биогенных элементов на две фракции – стойкую и лабильную – можно произвести по данным зимнего периода (предполагая практически полную минерализацию лабильного *ОВ*), то есть принимая:

$$Q_N = N_{минер.\ макс.};\ Q_P = P_{минер.\ макс.}$$
$$Y_N = N_{общ.} - N_{минер.\ макс.}$$
$$Y_P = P_{общ.} - P_{минер.\ макс.}$$

Годовая первичная продукция (P) считается нелинейной функцией Q_N и Q_P, учитывающей эффект лимитирования

$$\Gamma = \min\left\{\left(Q_N - Q_N\right)l_N;\ Q_P - Q_P\ \ l_P H_O C,\right.$$

и имеет размерность г С/м^2 × год;

Q_N^* и Q_P^* – установочные минимальные концентрации

(Q_N^*=10 мг N/м^3, Q_P^*= 1 мг P/м^3);

$H_O C$ – линейная скорость круговорота (H_O можно интерпретировать как толщину эвфотического слоя, H_O = 10 м), C – скорость круговорота (С = 10/год).

Остальные члены балансовых соотношений (потоки) линейны по отношению к запасам или концентрациям. Модель имеет балансовый вид: в левой части находятся скорости межгодовых изменений (производные), а в правой – алгебраические суммы потоков.

$$\frac{dB_N}{dt} = \sigma_N P_N - \rho_N B_N,$$

$$\frac{dB_P}{dt} = \sigma_P P_P - \rho_P B_P,$$

$$\frac{dQ_N}{dt} = \frac{1}{H}(L_N - \frac{dB_N}{dt} + U_1 - U_2) - (v_1 - v_2)Q_N - \frac{1}{H} \times \frac{1}{n_N}(\eta + \xi_N)P_C + kY\frac{1}{n_N},$$

$$\frac{dQ_p}{dt} = \frac{1}{H}(L_P - \frac{dB_P}{dt}) - (v_1 - v_2)Q_P - \frac{1}{H} \times \frac{1}{n_P}(\eta + \xi_P)P_C + kY\frac{1}{n_P},$$

$$\frac{dY}{dt} = \frac{1}{H}L_Y - (v_1 - v_2)Y + \frac{1}{H}\eta P_C - kY,$$

где H – средняя глубина озера; L_N, L_P, L_Y – биогенная нагрузка на озеро (соответственно N, P, C); $v_1 = V_1/V$, $v_2 = V_2/V$ – проточность (1/год); V_1 – объем воды, поступающий в озеро за год (речной приток плюс осадки); V_2 – объем воды, испаряющейся с поверхности озера за год; V – объем озера; v – доля стойкой фракции в продуцируемом органическом веществе (ОВ); P_C, P_N, P_P – первичная продукция, выраженная в единицах углерода (C), азота (N), фосфора (P); k – скорость минерализации ОВ; U_1, U_2 – потоки азотфиксации и денитрификации;

$$\xi_N = \frac{\xi l_N}{r_N}, \xi_P = \frac{\xi l_P}{r_P},$$

ξ – доля первичной продукции, захороняемая в донных отложениях;

$$\sigma_N = \frac{\sigma l_N}{m_N}, \sigma_P = \frac{\sigma l_P}{m_P},$$

ρ – скорость седиментации; p_N, p_P – скорость ресуспензии N и P, n_N, n_P – коэффициенты, равные отношению $C:N$, $C:P$ в стойком *ОВ*, r_N, r_P – коэффициенты, равные отношению $C:N$, $C:P$ в захороняемом веществе; m_N, m_P – коэффициенты, равные отношению $C:N$, $C:P$ в оседающем сестоне; l_N, l_P – коэффициенты, равные отношению $C:N$, $C:P$ в синтезируемом *ОВ*. ρ_N, ρ_P – коэффициенты ресуспензии азота и фосфора, эти коэффициенты приняты зависящими от средней глубины по закону

$$\rho = \rho_1(H_1/H)^n,$$

где ρ_1 = 0,1/год, H_1 – средняя глубина до спуска, n = 5. Оценка n проводилась по критерию отношения ресуспензии в послеспусковой и доспусковой периоды.

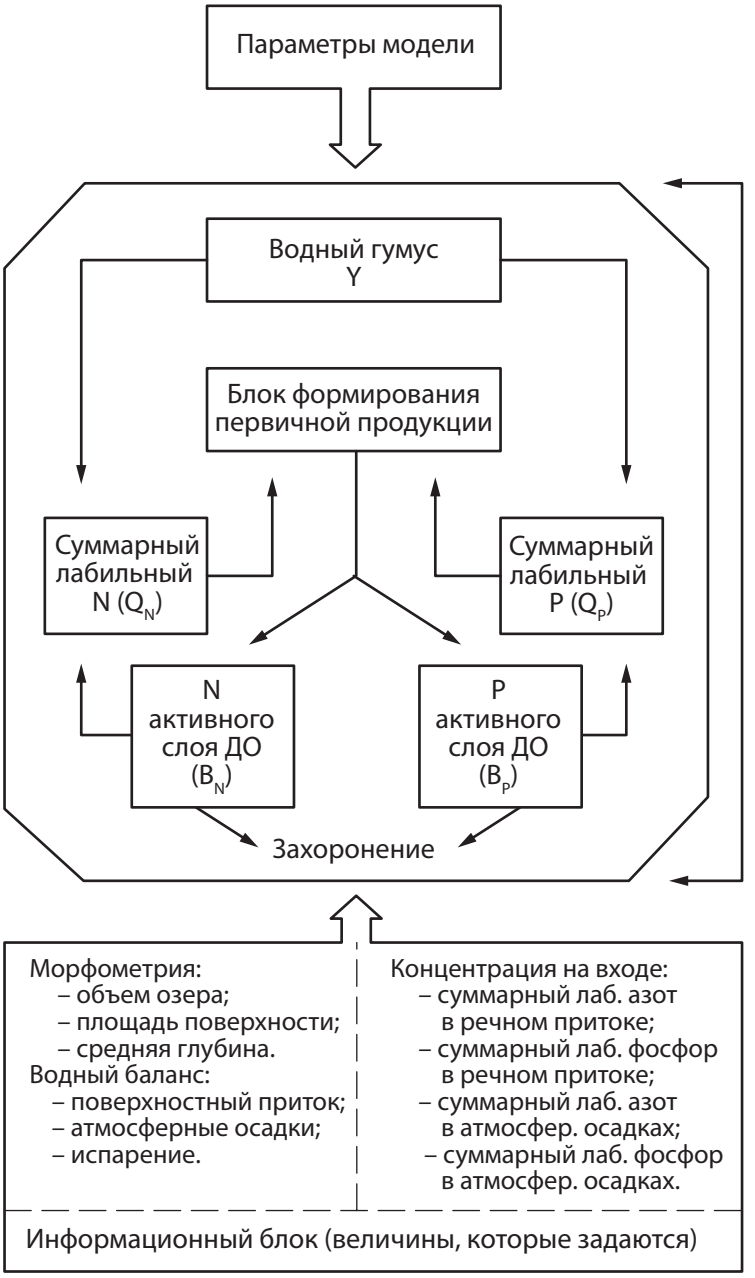


Рис. 83. Блок-схема модели
Fig. 83. Model's block scheme

Исходные параметры для модельных расчетов представлены в таблице 85.

Проверка адекватности модели наблюдаемым значениям первичной продукции проводилась в модельном эксперименте на основании данных таблицы 85. Динамика годовых величин первичной продукции при фактически имевших место изменениях морфометрии водоема и внешней нагрузки азотом и фосфором оказалась в основных чертах сходной с фактически наблюденной (рис. 84): после роста первичной продукции до больших значений отмечался ее спад до значений, превосходящих наблюденные в доспусковой период. Такое совпадение означает, что модель основана на адекватных предположениях. В то же время имеются расхождения с фактически наблюденными временными интервалами и величинами первичной продукции. В частности, спад продукции в реальных условиях происходил до более низких значений и за более короткое время (рис. 84).

С помощью модели были проведены три группы модельных экспериментов:

а) изменялась биогенная нагрузка азотом и фосфором при фактически имевших место изменениях морфометрических показателей (три варианта; рис. 86 A_1–A_4; табл. 85);

б) изменялись показатели морфометрии озера при фактически имевших место изменениях внешней нагрузки (4 варианта; рис. 87 A_5–A_8; табл. 85);

в) совместно изменялись показатели морфометрии и внешняя нагрузка биогенными элементами (7 вариантов; см. рис. 88 A_9, A_{10}; табл. 85).

Таблица 85. Численные значения величин, использованных в модельных расчётах: S – площадь (км^2); V – объем (км^3); W – поверхностный приток (км^3); N_W и P_W – концентрации азота и фосфора в поверхностном притоке (мг/м^3); N_a и P_a – концентрации азота и фосфора в атмосферных осадках (мг/м^3)

Год	S	V	W	N_W	P_W	N_a	P_a
1931	1416,0	58,4	0,81	443	77,3	608	56,5
1940	1413,0	58,0	0,75	450	80,0	608	56,5
1948	1392,5	54,9	0,82	460	80,0	608	56,5
1962	1281,0	38,5	1,00	2730*	120	608	56,5
1981	1244,0	33,8	0,80	5928	406	2038	113
1985	1238,9	33,0	0,85	6222	338	2430	113
1989	1238,9	33,0	0,85	6222	338	2430	113
2000	1238,9	33,0	0,85	6222	338	2430	113

* В период с 1949 по 1962 г. концентрации азота и фосфора в поверхностном притоке были увеличены с учетом биогенных элементов, высвободившихся в результате гибели макрофитов.

Всего было исследовано 14 вариантов воздействия на экосистему, представляющихся наиболее важными.

Динамика первичной продукции в перечисленных случаях приведена на рисунках 84, 86–88. В большинстве случаев характер изменений первичной продукции оказался схожим – рост первичной продукции, соответствующий группе б (рис. 85). В этом случае модель демонстрирует монотонный рост первичной продукции (рис. 87 A_1). Такой характер динамики первичной продукции, совпадающий, как уже указывалось, с наблюденным, дает основание предположить, что пиковые значения относятся к переходному периоду в развитии экосистемы; поэтому их нецелесообразно привлекать для оценки последствий антропогенного воздействия в условиях, близких к стационарным. Представляется, что более адекватной характеристикой являются установившиеся значения первичной продукции, которые легко определяются из соответствующих рисунков. Сравнение этих установившихся значений позволяет оценить в рамках рассматриваемой модели влияние, оказываемое различными антропогенными воздействиями на экосистему (рис. 86–88).

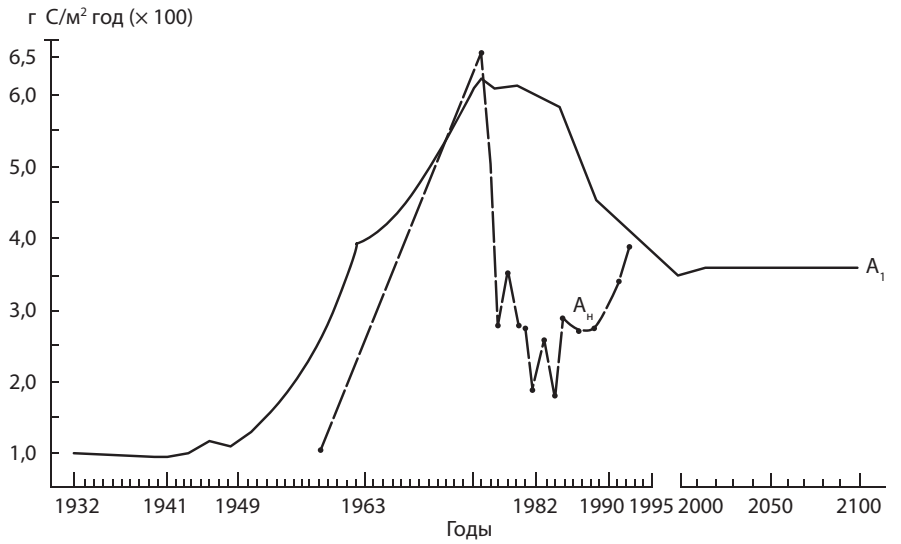


Рис. 84. Сопоставление результатов моделирования годовой динамики первичной продукции (А) планктона при фактических изменениях морфометрии и биогенной нагрузки (A_1) с результатами непосредственных наблюдений ($A_н$). Цифровой индекс у буквы А соответствует номеру опыта (см. текст и табл. 85)

Fig. 84. Comparison of results of modelling the annual dynamics of primary production (A) of plankton under actual changes in morphometry and biogenic load (A_1) to the results of direct observations ($A_н$). Figure index of letter A corresponds to the number of an experiment (see text and Table 85)

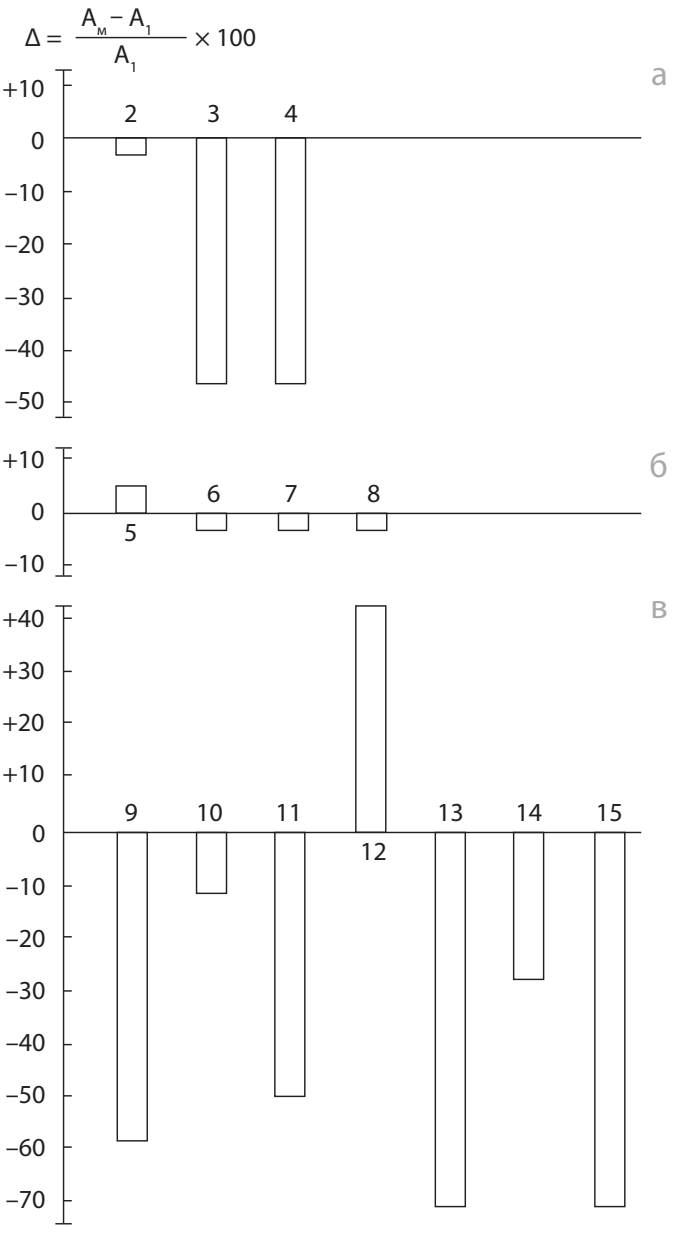


Рис. 85. Относительное изменение первичной продукции планктона в модельных экспериментах при различных воздействиях на озерную экосистему: а, б, в – группы экспериментов (см. в тексте); 2–15 – отдельные эксперименты (см. табл. 85)

Fig. 85. Relative change of primary production of plankton in model experiments in case of various impacts on lake's ecosystem: а, б, в – groups of experiments (see text); 2–15 – some experiments (see Table 85)

Сопоставление результатов отдельных опытов проводилось на основании относительной величины прироста первичной продукции в модельном опыте (по отношению к установившемуся значению при фактически имевших место изменениях морфометрии озера и биогенной нагрузки):

$$\Delta = (A_м - A_1)/A_1 \times 100,$$

где A_1 – установившееся значение первичной продукции, полученное в результате моделирования при фактически имевших место изменениях морфометрии и биогенных нагрузок;

$A_м$ – установившееся значение первичной продукции в опыте с различными воздействиями на экосистему, где м – номера экспериментов (2–15; см. рис. 86–88).

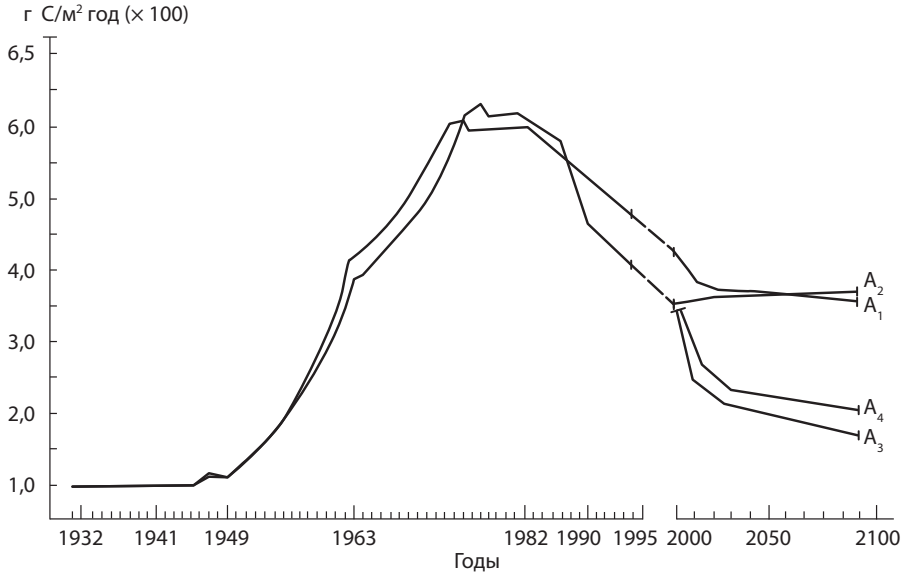


Рис. 86. Изменение первичной продукции A при уменьшении нагрузки N (A_2), P (A_3) на 50 % (обозначения и пояснения – см. рис. 84)

Fig. 86. Change in primary production A in case of the decrease of N (A_2) and P (A_3) load by 50% (for legend see Fig. 84)

При таком способе представления результатов отрицательные значения означают, что воздействие ведет к снижению первичной продукции, положительные – что воздействие является эвтрофирующим (рис. 85а–в).

Анализ полученных результатов (рис. 84–88) позволяет сделать следующие выводы.

1. Рассматриваемая модель оказалась весьма чувствительной к изменениям внешней нагрузки фосфором (рис. 85а; 86 A_1, A_3). Так, снижение внешней нагрузки фосфором на 50 % – раздельно (эксперимент 3) и в совокупности с уменьшением нагрузки азотом (эксперимент 4) – приводило к выраженному уменьшению установившегося значения первичной

продукции почти вдвое по сравнению с фактически имевшей место ситуацией. По-видимому, высокая чувствительность модели к внешнему поступлению фосфора отражает возросшую чувствительность экосистемы к режиму этого элемента вследствие уменьшения его концентрации в озерной воде и увеличения относительного значения поступления фосфора (с 0,4 % до 16 % от запаса в озере).

Таким образом, дальнейшее сохранение тенденции к убыли концентрации фосфора в озерной воде неизбежно приведет к выраженному лимитированию развития фитопланктона фосфором, описываемому для многих озер моделями Фолленвейдера (рис. 77).

2. Модельная первичная продукция оказалась не зависимой от изменения внешней нагрузки азотом (рис. 85а, 86 A_1). Уменьшение внешней нагрузки азотом на 50 % (эксперимент 2) практически не изменило отклик системы по сравнению с фактически наблюдавшейся ситуацией. Отклик на 50 %-ное уменьшение нагрузки азотом в совокупности с таким же изменением фосфорной нагрузки (эксперимент 4) практически не отличается от отклика, полученного в результате уменьшения только нагрузки фосфором (эксперимент 3). Такая ситуация находится в противоречии с результатами опытов по методу биологических испытаний [Парпаров, Бояхчян, 1984], в которых наибольший прирост первичной продукции наблюдался в опытах с совместными добавками азота и фосфора (внесение раздельно добавок азота и фосфора также стимулировало первичную продукцию планктона).

В силу значительного упрощения модели не были учтены все процессы, формирующие режим азота в озере. Возможно, с этими неучтенными процессами связана существенная положительная неувязка баланса азота (см. выше).

3. Модель оказалась в большей степени чувствительной к влиянию водосборного бассейна, чем к изменению морфометрии (снижению уровня озера) (рис. 88 A_9, A_{10}; рис. 85в). Сохранение на доспусковом уровне внешней нагрузки азотом и фосфором, несмотря на соответствующее фактическому изменение морфометрии (эксперимент 9), после незначительного повышения первичной продукции приводило к установившимся значениям первичной продукции, близким к доспусковым значениям. Напротив, согласно модели, одно только увеличение внешней нагрузки (при сохранении доспусковых значений морфометрии (эксперимент 10)) должно было привести к росту первичной продукции планктона, сравнимому с фактически наблюдаемому.

4. Отклик модели на повышение уровня озера оказался несущественным (эксперименты 6–8) (рис. 85б, рис. 87 A_5–A_8). Повышение уровня, согласно модели, должно привести к небольшому снижению первичной продукции. При этом результаты моделирования подъема уровня на 3 и 6 м (плавно и скачком) практически не отличаются друг от друга. Примечательно, что результаты модельных опытов с изменением морфометрии озера практически не зависят от скорости изменений. Так, уменьшение скорости

понижения уровня озера и уменьшение его проточности (эксперимент 5) привели лишь к незначительному (по сравнению с результатами моделирования фактической ситуации) увеличению первичной продукции. Аналогично практически не различаются результаты, полученные при моделировании случаев подъема уровня озера на 6 м скачком и в течение 20 лет (эксперименты 7 и 8). С нашей точки зрения, это обстоятельство следует отнести к недостаткам модели. Действительно, имеются общелимнологические представления о существенном влиянии проточности водоема на процессы, протекающие в его экосистеме.

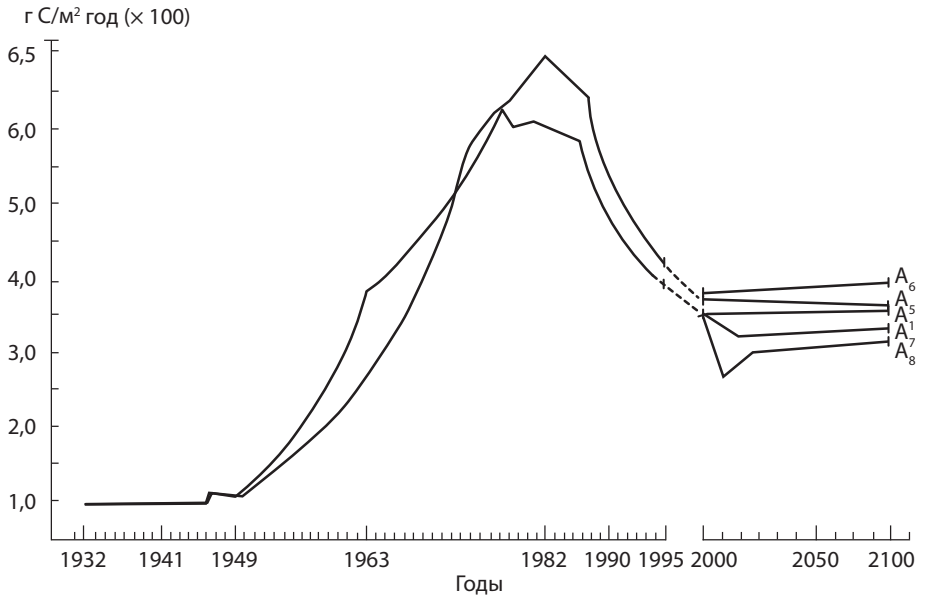


Рис. 87. Изменение первичной продукции A при более плавном понижении (по сравнению с фактически наблюденным) уровня озера (A_5) (обозначения и пояснения – см. рис. 84)

Fig. 87. Change in primary production A in case of a more gradual fall (in comparison to the actually observed) of the lake's water level (A_5) (for legend see Fig. 84)

5. Наибольшее деэвтрофирующее воздействие на экосистему получено в результате совместного воздействия повышения уровня и уменьшения биогенной нагрузки (рис. 85в; рис. 88 A_9, A_{10}). Такой результат находится в соответствии с ранее сформулированными положениями [Оганесян, Парпаров, 1983, 1986а; Оганесян, 1984, 1987], согласно которым повышение уровня озера должно производиться совместно с обеспечением достаточно высокого качества перебрасываемых в озеро вод (эксперименты 11–15), то есть с водоохранными мероприятиями на водосборной площади.

6. Представляется, что влияние водосборного бассейна в модели несколько переоценено. Моделирование ситуации с одновременным подъемом уровня озера на 6 м и увеличением биогенной нагрузки на 50 %

(эксперимент 12) дало наибольшее – почти вдвое – увеличение первичной продукции. Такой результат представляется маловероятным. Действительно, увеличение, а затем уменьшение внешней нагрузки на 20 % (в связи с вводом в строй и последующим перерывом в работе туннеля Арпа – Севан) не привели к сколько-нибудь заметным изменениям концентраций биогенных элементов (особенно азота) в озерной воде и величины первичной продукции планктона.

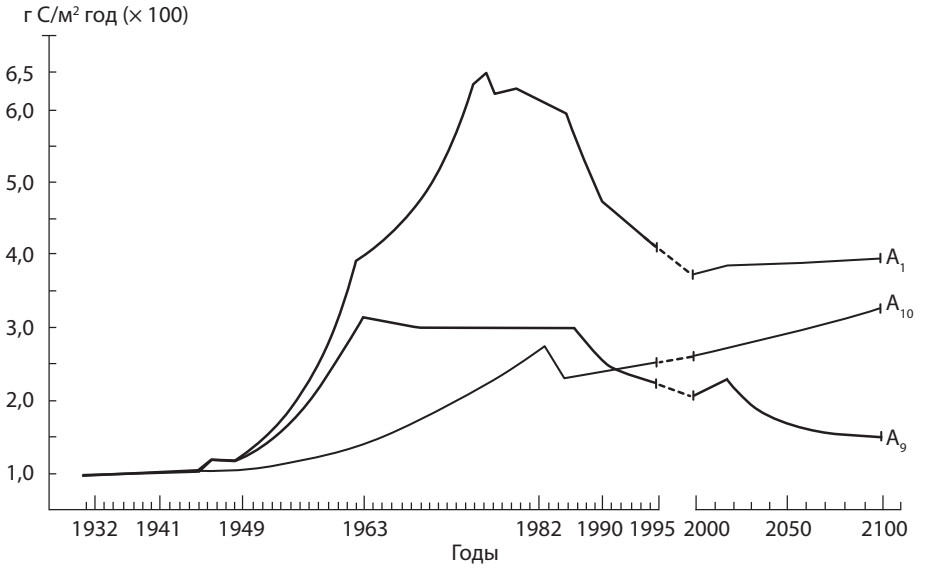


Рис. 88. Изменение первичной продукции A при фактически имевшем место понижении уровня озера и биогенной нагрузке, соответствующей доспусковому периоду (A_9) (обозначения и пояснения – см. рис. 84)

Fig. 88. Change in primary production A during the actual decrease of the lake's water level and the biogenic load corresponding to the pre-draining period (A_9) (for legend see Fig. 84)

Таким образом, первый опыт моделирования эвтрофирования озера Севан позволил выявить некоторые важные аспекты изучаемой проблемы и наметить первоочередные направления исследований. Использование математической модели приводит к результатам, не противоречащим общелимнологическим закономерностям. С этой точки зрения даже простейшее моделирование гидроэкологических процессов является полезным инструментом исследований.

В то же время приведенная модель нуждается в развитии и совершенствовании. Дальнейшая разработка и уточнение модели должны основываться на исследовании и количественной оценке круговорота биогенных элементов, в частности взаимодействий в системе «вода – донные отложения» [Оганесян, 1987].

Прогностическая оценка эффективности управления экосистемой озера Севан по замедлению его эвтрофирования

Основными механизмами управления, с помощью которых можно добиться замедления эвтрофирования и ограничения его отрицательных последствий для хозяйственного использования водных и рыбных ресурсов озера, являются мероприятия по подъему уровня, а также водоохранные мероприятия в водосборном бассейне озера и перебрасываемых рек [Оганесян, 1975; Оганесян и др., 1977а; Оганесян, Парпаров, 1983, 1986а, б, 1987].

Оценочный прогноз эффективности указанных мероприятий разработан нами с использованием имеющихся материалов многолетних исследований (см. гл. 3–5), а также результатов математического моделирования [Оганесян, Ушканова, 1987]. Однако упрощенный характер математической модели, а также то обстоятельство, что «выходом» модели является всего один, хотя и очень важный показатель – первичная продукция планктона, ограничивают возможности использования данной модели для прогнозирования состояния экосистемы озера.

Поэтому для прогнозирования других показателей были применены модели, позволяющие количественно оценить основные зависимости, связывающие морфометрические, гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические параметры [Оганесян, Парпаров, 1986а].

Учитывая ряд специфических особенностей Севана, прогноз состояния экосистемы и определение эффективности управления ею в значительной мере выполняется на основе экспертных оценок и носит качественный или даже ориентировочный характер.

Определение величины оптимального уровня озера Севан как одного из основных параметров управления является не только лимнологической, но и социально-экономической задачей. С экологической точки зрения можно указать только минимальную величину подъема уровня, необходимую для замедления эвтрофирования.

При этом следует учитывать следующие особенности экосистемы озера:

1. Эвтрофирование Севана связано не только с увеличением поступления биогенных элементов, как в большинстве случаев антропогенного эвтрофирования, но и с перестройкой внутренних механизмов вследствие искусственного понижения уровня на 18,8 м.

2. Отсутствие абсолютной уверенности в обратимом характере процессов после повышения уровня (рис. 79) затрудняет применение для прогностических целей анализа тенденций в динамике основных характеристик экосистемы.

3. Как указывалось, экосистема озера Севан находится в дестабилизированном состоянии. Известно [Одум, 1975], что дестабилизированные системы могут неадекватно реагировать на относительно слабые воздействия.

В связи с этим нельзя недооценивать роль хозяйственной деятельности в бассейне озера.

Один из возможных путей поиска минимальной величины подъема уровня состоит в исследовании связи между морфометрическими показателями озера и показателями, зависящими от биопродукционных процессов [Оганесян, Парпаров, 1986а].

Ниже приведены результаты анализа соответствующих зависимостей и сделана оценка минимально необходимой величины подъема уровня озера Севан. Очевидно, что полученная величина является не более чем приближенной оценкой, подлежащей уточнению по мере накопления новых материалов.

Одними из наиболее важных гидрофизических параметров, которые следует учитывать для экосистемы озера Севан, являются его температурный режим и стратифицированность водных масс.

Подъем уровня увеличит теплоустойчивость озера и приведет к изменению условий температурной стратификации, особенно в Большом Севане [Оганесян, Парпаров, 1986а]. Температурная стабильность озера (или его части) может быть оценена по формуле [Bauer, 1978]:

$$S = g\left(\int_0^{z_{\max}} \rho_z A_z dZ - \rho_0 \int_0^{z_{\max}} Z A_z dZ\right),$$

где S – стабильность; g – ускорение силы тяжести; ρ_Z – плотность воды на глубине Z; A_Z – гипсометрическая площадь слоя Z; Z_{max} – максимальная глубина озера; ρ_0 – средняя плотность воды.

Выражение в скобках (для данного уровня озера и при прямой температурной стратификации) больше нуля. Интегрирование должно приводить к положительным зависимостям от глубины, и, следовательно, с возрастанием максимальной глубины водоема его температурная стабильность увеличится. Как уже отмечалось, наиболее выраженных изменений следует ожидать в Большом Севане. В частности, произойдет увеличение срока существования стратифицированных условий, гомотермия будет устанавливаться при более низких температурах.

На рисунке 90 приведена расчетная динамика площади, занятой гиполимнионом, и его объема при различных величинах подъема уровня в конце стратификации в Большом Севане. Значительное увеличение площади и объема гиполимниона ожидается только после повышения уровня на 4 м (1901,5 м НУБМ). Однако это состояние будет неустойчивым и в большей степени будет зависеть от метеорологических условий, то есть в зависимости от интенсивности перемешивания стратифицированные условия будут сменяться нестратифицированными и анаэробные условия аэробными. Такое чередование с точки зрения гидрохимических условий нежелательно. Устойчивое увеличение показателей стратифицированности может быть достигнуто только после подъема уровня на 6 м (до отметки 1903 м НУБМ).

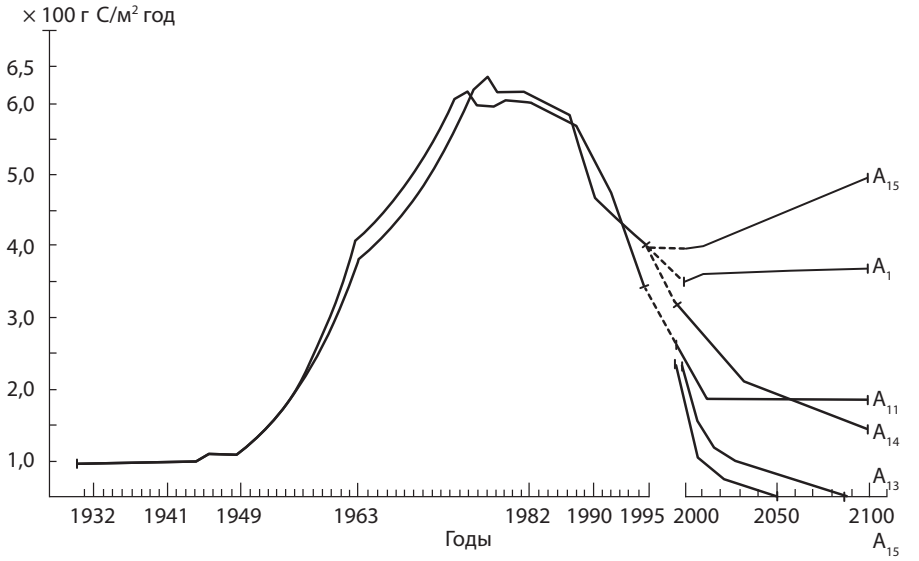


Рис. 89. Изменение первичной продукции A при повышении уровня озера на 6 м в 1990–2100 гг. и одновременном уменьшении нагрузки азотом и фосфором на 50 % (A_{11}) (обозначения и пояснения – см. рис. 84)

Fig. 89. Change in primary production A during the lake's water level increase by 6 m in 1990–2010 and the simultaneous decrease of nitrogen and phosphorus load by 50% (A_{11}). (For legend see Fig. 84)

Изменение некоторых гидрофизических показателей озера Севан при повышении уровня на 6 м (1903,5 м НУБМ) приведено в таблице 87.

Таблица 87. Основные гидрофизические характеристики озера Севан при повышении уровня на 6 м (до отметки 1903,5 м) (1 – современные значения; 2 – после подъема уровня)

Показатели	Малый Севан		Большой Севан		Озеро в целом	
	1	2	1	2	1	2
Объём, км³	12,6	14,8	20,9	26,0	33,2	40,8
Площадь, км²	328	346	916	952	1244	1298
Средняя глубина, м	39,2	42,6	23,6	27,3	27,1	31,5
Прозрачность, м	2–5	5–7	2–5	5–7	2–5	5–7

Важной характеристикой экосистемы озера Севан является кислородный режим придонных слоев воды и влияние на него подъема уровня [Оганесян и др., 1983; Оганесян, Парпаров, 1986а].

В качестве основного параметра рассмотрен ареальный дефицит кислорода (АД, г O_2/м² сутки) и среднее потребление кислорода в гиполимнионе (ГД, г O_2/м³ сутки). Эти величины связаны соотношением:

$$\text{ГД} = \frac{\text{АД}}{Z_\eta},$$

где $Z\eta$ – средняя глубина гиполимниона.

Для прогностических оценок использовалась эмпирическая формула [Charlton, 1980], учитывающая трофический статус и морфометрию водоема:

$$AD = 3,8\left[\frac{1,15\overline{x;}a^{1,33}}{9+1,15\overline{x;}a^{1,33}} \cdot \frac{\overline{Z}_\eta}{50+Z_\eta} \cdot 2\frac{\overline{T}_\eta - 4}{10}\right] + 0,12,$$

где $\overline{хла}$ – среднее содержание хлорофилла «а» в столбе воды; $\overline{T}\eta$ – средняя температура гиполимниона.

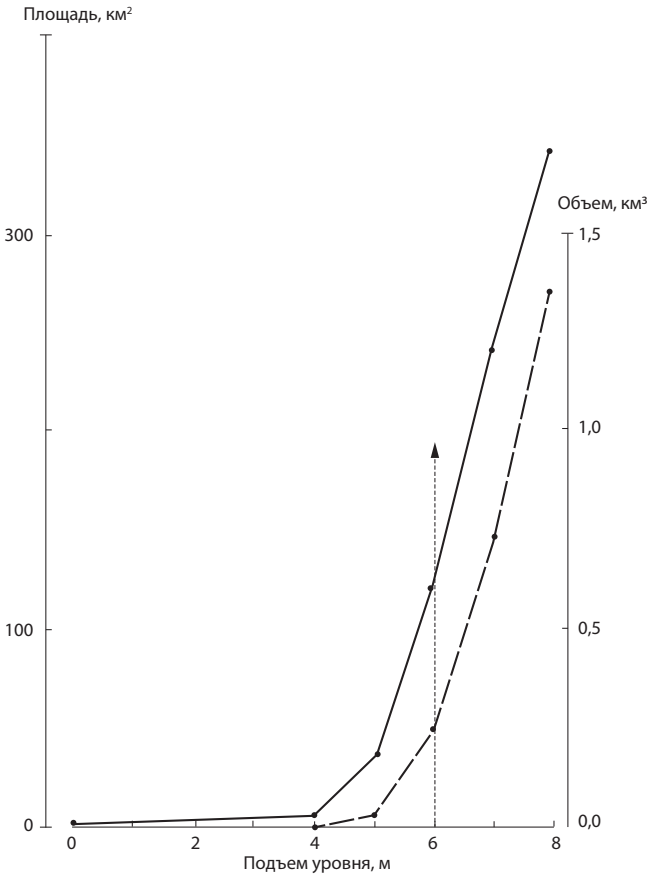


Рис. 90. Площадь (сплошная линия) и объем (пунктир) гиполимниона Большого Севана в октябре при разных величинах подъема уровня

Fig. 90. Total area (continuous line) and volume (dotted line) of Major Sevan hypolimnion in October in case of different values of water level increase

Исследовалась зависимость ГД от содержания хлорофилла «а» и величины подъема уровня. На рисунке 91 приведены расчетные значения объемного гиполимниального дефицита кислорода (в Большом Севане) в зависимости от величины подъема уровня при различных значениях содержания хлорофилла «а». Из представленных данных видно, что заметное улучшение кислородного режима Большого Севана может быть достигнуто только после подъема уровня озера на 5 м; устойчивым же этот процесс ожидается после подъема уровня на 6–7 м. Видно также, что при уменьшении содержания хлорофилла «а» в планктоне (снижении трофности озера) будет происходить еще более быстрое снижение потребления кислорода в гиполимнионе.

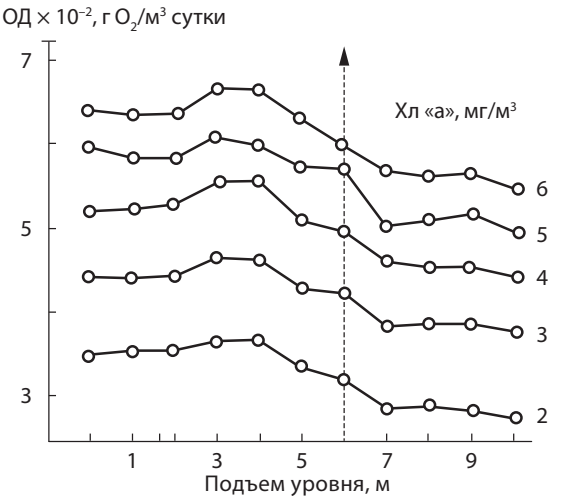


Рис. 91. Расчетные оценки объемного дефицита кислорода (ОД) в Большом Севане при различных значениях подъема уровня и хлорофилла «а»

Fig. 91. Rated assessments of volumetric oxygen deficit (ОД) in Major Sevan during various values of water level increase and chlorophyll-A

Повышение уровня озера при постоянной концентрации хлорофилла «а» должно привести к уменьшению скорости поглощения кислорода в единице объема гиполимниона в среднем на 0,008 г $O_2/м^3$ в сутки на 1 м подъема уровня (расчетные данные). Различия в морфометрии отдельных частей озера приводят к тому, что в Малом Севане прогнозируемое уменьшение гиполимниального дефицита кислорода практически линейно зависит от величины подъема уровня, тогда как в Большом Севане устойчивое снижение гиполимниального дефицита кислорода ожидается только после подъема уровня на 6 м (1903,5 м НУБМ) (рис. 91).

Полученная оценка является важной предпосылкой «олиготрофирования» Севана в результате подъема его уровня.

Итак, прогнозирование гидрохимического режима внутренних водоемов – одна из наиболее сложных задач лимнологии. Разработка прогноза для озера Севан сопряжена с дополнительными трудностями, обусловленными особенностями и специфичностью механизма его эвтрофирования [Оганесян, Парпаров, 1986а].

Особенно усложняет прогнозирование осуществление и планирование переброски в озеро части стока рек бассейна р. Аракс. На основании имеющихся материалов можно указать только гипотетический характер гидрохимических изменений в будущем.

Сохранение на протяжении десятилетий стабильной величины общей минерализации (см. табл. 66) позволяет предполагать, что, несмотря на увеличение роли речного притока в озеро, эта величина сохранится на уровне 650–700 мг/л. Аналогичным образом следует ожидать, что активная реакция воды сохранится на уровне 8,7–9,2 (табл. 68).

Наиболее сложно прогнозировать режим биогенных элементов, который во многом определяет биологическую продуктивность озера, в частности внутриводоемные процессы, определяющие интенсивность круговорота.

Учитывая, что процессы, ведущие к увеличению скорости седиментации фосфора, при увеличении средней глубины озера ослабеют, подъем уровня приведет к уменьшению осаждения фосфора. Седиментация фосфора может уменьшаться и в случае снижения трофности озера, что предполагается при подъеме его уровня. Однако при уменьшении седиментации фосфора следует ожидать и уменьшения его диффузии из донных отложений. Поэтому прогнозировать результат сочетания этих двух процессов, формирующих концентрацию фосфора в воде, довольно сложно.

С большей достоверностью можно прогнозировать влияние на биологическую продуктивность фосфора, поступающего с водосборного бассейна озера. Математическое моделирование первичной продукции озера Севан (см. выше) показывает, что снижение внешней нагрузки фосфором на 50 % приводит к выраженному уменьшению установившегося значения первичной продукции почти вдвое (рис. 85, 86). Это объясняется возросшей чувствительностью экосистемы озера к внешнему поступлению фосфора вследствие уменьшения его концентрации в озерной воде (рис. 76) и увеличения относительного значения поступающего с водосбора фосфора к его запасам в озере (от 0,4 до 16 % от запаса в озере).

Следовательно, эффективным мероприятием для предотвращения дальнейшего эвтрофирования должно быть уменьшение количества фосфора, поступающего с водосборного бассейна, до величин доспускового периода – путем строгого контроля всех отраслей экономики, которые являются техногенными источниками фосфора.

Еще сложнее прогнозировать режим азота, круговорот которого почти полностью определяется биологическими процессами.

Выявление отрицательной обратной связи между содержанием кислорода у дна и диффузией азота из иловых отложений позволяет предсказывать уменьшение диффузного выноса азота из донных отложений озера вследствие снижения гиполимниального дефицита кислорода после подъема уровня озера. Поскольку диффузия азота из донных отложений – одна из наиболее весомых статей в приходной части баланса азота (табл. 83), можно ожидать, что при повышении уровня произойдет некоторое уменьшение концентрации азота в воде.

Прогнозирование процессов круговорота азота осложняется еще тем, что математическая модель первичной продукции озера показала независимость последней от изменения внешней нагрузки азотом (рис. 85, 86 A_1). Уменьшение на 50 % количества азота, поступающего с водосборного бассейна, практически не изменило установившуюся величину первичной продукции. По всей вероятности, это означает, что внутриводоемная нагрузка азотом настолько превалирует над его внешним поступлением, что 7000 т азота (табл. 31, 83), поступающего в озеро с водосборного бассейна, не играет роли в биопродукционных процессах озера.

Таким образом, прогностическая оценка, выполненная на основании математического моделирования первичной продукции озера, дает возможность сделать очень интересный с общелимнологической и практической точек зрения вывод: до понижения уровня развитие автотрофного звена озера лимитировалось азотом (глава 4) и зависело от внешнего поступления, в настоящее время произошла перестройка лимитирования – и развитие фитопланктона, по всей вероятности, лимитируется фосфором и зависит от его внешнего поступления.

Этот вывод подтверждается динамикой запасов азота и фосфора в озере (глава 5, рис. 82), а также результатами моделирования. Изменения первичной продукции при снижении на 50 % количества азота и фосфора (рис. 85, 86 A_3) в совокупности практически не отличались от изменения в результате уменьшения только нагрузки фосфором (рис. 85, 86 A_2).

Многообразие эвтрофирующих факторов, а также дестабилизированное состояние озера, как было показано выше (см. главу 5), очень затрудняет прогнозирование режима азота и фосфора в отдельности. Поэтому прогноз их внутриводоемного режима основывается в значительной мере на экспертных оценках, а роль внешнего поступления – на приблизительной оценке с помощью математического моделирования.

Учитывая это обстоятельство, сделана попытка дать прогностическую оценку внутриводоемного режима биогенных элементов в целом, в частности оценить изменения хода процессов седиментации и диффузии биогенных элементов в зависимости от подъема уровня озера Севан.

Известно [Мартынова, 1984], что накопление органических веществ на дне – фактор, в конечном итоге определяющий трофический статус крупных озер (рис. 92). В диапазоне средних глубин озер 12–25 м скорость озерного

накопления органического вещества обратно пропорциональна средней глубине озера. В озерах со средней глубиной более 30 м озерное накопление уже не зависит от морфометрии озера (рис. 92). В настоящее время средняя глубина Большого Севана (основной части озера, которая больше подвергается эвтрофированию) составляет 22,8 м (табл. 60). После подъема уровня на 6 м средняя глубина озера составит около 29 м, что очень близко к величине, когда озерное накопление уже не будет зависеть от дальнейших межгодовых изменений уровня. Этим будет обеспечена стабильная скорость донного накопления органического вещества.

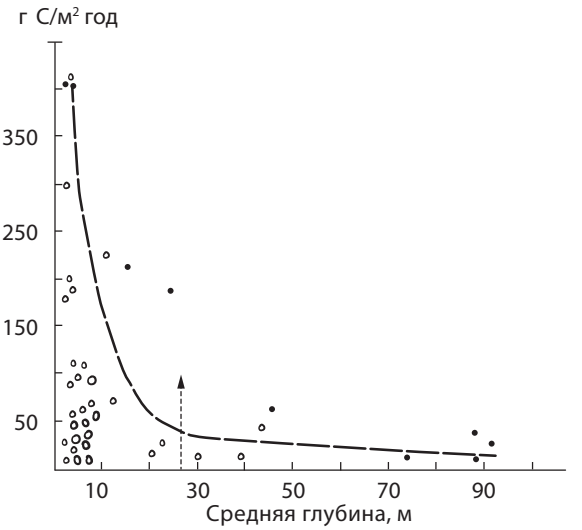


Рис. 92. Накопление органического вещества на дне водоемов как функция их средней глубины [Мартынова, 1984]

Fig. 92. Accumulation of organic matter at the bottoms of reservoirs as a function of their mean depth (value) [Martynova, 1984]

Результаты исследования процесса седиментации взвешенного вещества в воде озера Севан приводят к выводу о значительной роли ресуспензии как дополнительного источника поступления взвешенных форм биогенных элементов в воду из донных отложений в обеих частях озера.

В настоящее время Большой Севан относится к классу водоемов, в которых ресуспензия достаточно велика: площадь донных отложений, с которых возможна ресуспензия, составляет около 40 % этой части озера.

Расчеты показали, что только подъем уровня озера как минимум на 6 м (до 1903,5 м НУБМ) может существенно уменьшить ресуспензию из донных отложений – до величины площадей меньше 30 % от площади Большого Севана. По классификации Хакенссона и Йенсена [1983], в таких водоемах роль ресуспензии становится несущественной.

Такая величина подъема уровня озера подтверждается также отношением площади ($S_э$) донных отложений, соприкасающихся с эпилимнионом, к объему ($V_э$) эпилимниона озера ($S_э : V_э$) как показателя, пропорционального выделению биогенных элементов из донных отложений и в конечном счете первичной продукции (рис. 89).

После понижения уровня озера на 12 м произошло резкое увеличение $S_э : V_э$ (рис. 89) (до отметки –12 м $S_э : V_э$ возрастало пропорционально понижению уровня в степени 0,65, при дальнейшем понижении уровня – пропорционально понижению уровня в степени 2,89). Поскольку в данном случае полностью применим обратный ход рассуждений, то из сказанного следует, что подъем уровня как минимум на 6 м (1903,5 м НУБМ) существенно ограничит поступление биогенных элементов из донных отложений в верхние слои воды.

Таким образом, рассмотрение вероятных перестроек процессов, формирующих гидрохимический режим озера, дает основание предполагать, что подъем уровня озера создает благоприятные предпосылки для улучшения качества его воды.

Анализ межгодовой динамики первичной продукции планктона озера Севан (рис. 78) показывает, что в настоящее время (1979–1985 гг.) она стабилизировалась на уровне 3000 ккал/м^2 год. При этом сезонная динамика первичной продукции и биомассы фитопланктона сохранила черты доспускового периода – максимумы весной и осенью, минимумы летом; в фитопланктоне доминируют диатомовые водоросли. По-видимому, эти черты сезонной динамики сохранятся и в будущем.

Предполагается, что подъем уровня Севана будет сопровождаться снижением первичной продукции планктона. Поскольку изменение состояния экосистемы озера, по-видимому, не будет полностью обратимым, в особенности по отношению к азоту и фосфору, то следует ожидать, что величина первичной продукции будет промежуточной между ее нынешним уровнем и величиной, наблюдавшейся в 1959 г. (табл. 84).

Управление биопродукционными процессами в озере Севан несомненно будет более эффективным, если наряду с управлением внутриводоемными процессами, изменением морфометрии (подъем уровня озера на 6 м в лучшем случае осуществится через 15–20 лет) управлять также его вневодоемными факторами, особенно внешним поступлением азота и фосфора. Такая концепция [Оганесян, Парпаров, 1986а, б] предотвращения эвтрофирования озера Севан подтверждается откликом математической модели – наибольшее деэвтрофирующее воздействие на экосистему озера получено в результате совместного воздействия повышения уровня и уменьшения биогенной нагрузки со стороны водосборного бассейна (рис. 85, 88 A_9, A_{10}).

Таким образом, предполагается, что прогнозируемая величина первичной продукции планктона озера Севан будет находиться в пределах 1000–3000 ккал/м^2 год при среднем значении 2500 ккал/м^2 год. Эта величина

будет достигнута только при достижении минимально необходимой величины подъема уровня около 6 м (1903,5 м НУБМ).

В период подъема уровня следует ожидать дестабилизированного состояния экосистемы озера Севан с увеличением первичной продукции в определенные периоды до 5000 ккал/м^2 год, не исключается также интенсивное «цветение» воды озера в результате развития синезеленых водорослей.

Благоприятным фактором в отношении снижения биомассы и продукции фитопланктона будет восстановление и распространение на большие площади зарослей макрофитов – антагонистов фитопланктона. Однако в силу уменьшившейся прозрачности воды нельзя ожидать быстрого распространения макрофитов до значительных глубин. Следовательно, прогнозируемая скорость развития макрофитов не может привести к значительному снижению развития фитопланктона в обозримой перспективе.

Прогнозируемое снижение первичной продукции приведет к снижению продуктивности высших звеньев трофической цепи – зоопланктона, зообентоса и ихтиофауны, – по всей вероятности, к обратимости видовой сукцессии и замене доминантов [Оганесян, Парпаров, 1986а].

Прогнозирование возможных изменений батиметрического распределения зообентоса при планируемом повышении уровня озера Севан представляется возможным на основе оценки тех изменений в распределении донной фауны по глубинам, которые произошли в процессе снижения уровня. Ранее было показано, что в результате снижения уровня на 18,8 м примерно на 20 м относительно поверхности воды повысилась нижняя граница распространения практически всех систематических групп животных макробентоса, то есть их пространственное распространение на дне водоема почти не изменилось. При повышении уровня воды весьма вероятна обратимость произошедших процессов: максимальные глубины распространения всех групп животных бентоса должны возрасти на величину подъема уровня. Вследствие увеличения площадей каменисто-галечных грунтов и, вероятно, расширения зон макрофитов можно предположить возрастание количественного развития лито- и фитофильных животных бентоса.

Снижение продуктивности фитопланктона, зоопланктона и зообентоса приведет к уменьшению рыбопродуктивности сига, доминирующего в рыбном сообществе, в среднем на одну треть [Смолей, 1986].

ВЫВОДЫ

1. Озеро Севан – уникальный водоем в кадастре озер мира – является единственным крупным источником пресной воды в Армении, что определяет его ключевую роль в развитии социально-экономического потенциала республики, отличающейся крайне напряженным водным балансом. Интенсивная эксплуатация водных ресурсов озера, начатая в 1930-е гг., привела к понижению уровня на 18,8 м, существенной трансформации морфометрии (уменьшению площади зеркала на 12,2 %; снижению средней (на 34,2 %) и максимальной (на 19 %) глубин; уменьшению объема (на 42,2 %) и увеличению роли водосборного бассейна (площадь водосбора возросла на 172 км^2; отношение площади водосбора к отношению площади зеркала увеличилось с 2,4 до 2,9), что сопровождалось выраженными изменениями экологического состояния.

2. Снижение уровня озера происходило неравномерно, характеризовалось резко различавшимися скоростями, на основании чего выделено 5 этапов спуска: первый (1933–1940 гг.) – понижение на 0,65 м (скорость 0,08 м год); второй (1941–1948 гг.) – на 2,50 м (0,31 м/год); третий (1949–1962 гг.) – на 13,0 м (0,93 м/год); четвертый (1963–1982 гг.) – на 2,65 м (0,14 м/год); пятый – стабилизация уровня (с 1983 г.).

Установлено, что при общей направленности изменений, типичных для перехода от олиго- к эвтрофному состоянию, отклик системы на неравномерность понижения уровня проявлялся на каждом этапе отличительной системой признаков, специфично: на первом и втором этапах озеро сохранило основные черты олиготрофии; в конце третьего – начале четвертого этапа появились выраженные признаки антропогенного эвтрофирования (в частности цветение воды в результате развития синезеленых водорослей – цианобактерий, возникновение анаэробных условий в гиполимнионе), достигшие экстремальных значений в 1975–1977 гг.; к концу четвертого и на текущем этапе прозошло устойчивое снижение интенсивности биопродукционных процессов.

3. Выполненное нами обобщение и всесторонний анализ материалов гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических исследований в историческом аспекте и в современный период – с 1930 по 1990 г. – дало возможность установить причины эвтрофирования озера

и охарактеризовать последствия для экосистемы и хозяйственного использования природных ресурсов Севана. До третьего этапа понижения уровня (до 1949 г.) озеро было стратифицированным и слабопроточным (полный водообмен – 44,3 года), обладавшим основными чертами олиготрофного водоема: оно характеризовалось высокой прозрачностью воды (в среднем до 14 м) и содержанием кислорода (в среднем не менее 6,0 мг/л), имело своеобразный режим основных биогенных элементов – весьма высокое содержание фосфора (0,32 мг/л) и очень низкие (следовые) концентрации минерального азота. Основными продуцентами были макрофиты и фитопланктон (500–1000 ккал/м^2 год). Биомасса макрофитов составляла 7000 г/м^2, а фитопланктона не превышала 1,0 г/м^3. Количественное развитие зоопланктона определялось копеподами и единственным представителем кладоцер – дафнией. В макрозообентосе доминирующей группой были бокоплавы. Ихтиоценоз озера был по преимуществу лососевым, доминировала эндемичная севанская форель.

4. Вследствие дестабилизации внутриводоемных процессов в результате понижения уровня и возросшей роли водосборного бассейна в конце третьего и начале четвертого этапов появились признаки антропогенного эвтрофирования озера: в 4 раза уменьшилась прозрачность воды (2–4 м), стали развиваться анаэробные условия в гиполимнионе, в воде у дна в заметных количествах появился сероводород, происходило увеличение концентрации минерального фосфора, возникло «цветение» воды в результате развития синезеленых водорослей (цианобактерий). Биомасса фитопланктона (2,5–3,5 г/м^3) и его продукция (7000 ккал/м^2 год) возросли в 10 и 7 раз соответственно. Вследствие осушения прибрежной полосы (до 50–1000 м в год) биомасса макрофитов сократилась на 90 %.

Увеличение первичной продукции планктона сопровождалось адекватным ростом продукции зоопланктона (в 3 раза), макрозообентоса (в 6–7 раз). В обоих сообществах рост продуктивности сопровождался заметной видовой сукцессией.

Рыбопродуктивность увеличилась вдвое с одновременной видовой перестройкой. Водоем из форелевого стал сиговым.

5. В работе показано, что структурно-функциональные изменения в экосистеме Севана обусловлены не только эндогенными, но и экзогенными причинами, связанными с увеличением роли водосборного бассейна и интенсификацией хозяйственной деятельности, усиленному влиянию которой способствует специфический рельеф водосборной площади. Проведенная количественная оценка показала, что результаты хозяйственной деятельности в бассейне характеризуются следующими (в сравнении с доспусковым периодом) данными: увеличением численности населения (на 160 %), возросшим поступлением сточных вод (в 80 раз за счет промышленности и на 318 % – за счет животноводства); увеличением площадей сельхозугодий (на 326 %) и применяемых удобрений (в 9,5 раз);

ростом концентраций азота и фосфора в атмосферных осадках (в 2–3 раза). Общая внешняя нагрузка азотом и фосфором возросла (в сравнении с 1940 г.) в 4,2 раза, составив 5,62 и 0,32 г/м^2 год соответственно, а нагрузка, создаваемая поверхностным и подземным стоком, увеличилась в 3,3 раза по азоту и в 3,6 раза по фосфору.

С учетом всех статей внешнего поступления биогенных веществ установлено, что в последнее десятилетие ежегодно в Севан поступало 5000–7000 т азота и 300–400 т фосфора, в том числе около 57 % азота и 45 % фосфора с речным притоком, 16 % азота и 27 % фосфора с рассеянным (местным) стоком, 7 % азота и 11 % фосфора с подземным притоком (за счет промышленности – 22 % N и 52 % P; животноводства – 30 % N и 7 % P; растениеводства – 48 % N и 41 % P), а также 20 % азота и 17 % фосфора с атмосферными осадками.

6. Нами исследовано поступление в озеро токсических веществ – пестицидов и тяжелых металлов. Коэффициент выноса пестицидов поверхностными и подземными стоками с водосборного бассейна составляет 0,09. В озеро ежегодно поступает (с 1977 по 1986 г.) от 5,0 до 10,0 т ядохимикатов 34 наименований.

Валовое поступление тяжелых металлов с притоками в среднем за год достигает 100 т; с атмосферными осадками – 33 т; вынос через р. Раздан – 40–50 т. Концентрация тяжелых металлов в воде озера невысока: наиболее распространены железо и цинк. В донных отложениях озера и его притоках происходит аккумуляция тяжелых металлов в широком диапазоне коэффициентов накопления (10^3–10^6) для разных элементов.

7. Установлено, что в гидробионтах накопление тяжелых металлов происходит неодинаково. В наибольшей степени свинец (3,0 мг/кг) и цинк (59,2 мг/кг сух. веса) накапливаются в зоопланктоне, а марганец (2,8 мг/кг) и медь (6,8 мг/кг сух. веса) – в зообентосе. В рыбах содержание тяжелых металлов меньше, чем в планктонных и бентосных организмах. Коэффициенты накопления различных металлов в зависимости от вида составили: в зоопланктоне – от 300 до 8500; в зообентосе – от 10 до 5000; в рыбах – от 80 до 4000. В период увеличения естественной смертности сигов (1982–1984 гг.) достоверной разницы между концентрацией тяжелых металлов в органах и тканях «нормальных» и погибающих сигов не выявлено, что указывает на опосредованное (косвенное) влияние тяжелых металлов и, возможно, пестицидов на физиологические процессы у рыб на фоне неблагоприятных гидроэкологических условий (обеднение кормовой базы, ухудшение кислородного режима и т.п.).

8. На основе всестороннего анализа материалов в историческом аспекте и на современном этапе по результатам исследования экосистемы озера, включая его водосборную площадь, установлен механизм его эвтрофирования, обусловленный следующими причинами:

а) понижение уровня обусловило возможность вовлечения в круговорот биогенных элементов, накопленных и захороненных ранее в донных отложениях;

б) вследствие изменения морфометрии возросла зависимость от поступления биогенных веществ с водосбора, количество которых резко возросло в связи с интенсификацией хозяйственной деятельности в бассейне;

в) очень важным фактором явилась гибель и последующее разложение зарослей макрофитов на обнажавшихся площадях, что привело к дополнительному обогащению севанской воды биогенными элементами.

Перечисленные причины привели к нарушению естественного динамического равновесия биогенных элементов в системе «вода – донные отложения». Критическим моментом в изменении экологического состояния озера Севан явился период интенсивного понижения (1949–1962 гг., третий этап), в течение которого уровень озера снизился на 13 м.

9. Нами установлено, что существенной особенностью антропогенного эвтрофирования озера Севан является совместное действие двух ведущих факторов: перестройки внутриводоемных процессов в результате понижения уровня озера на 18,8 м и избыточного поступления биогенных веществ с водосборного бассейна. При этом эвтрофирование сочеталось с загрязнением озера в результате увеличения концентрации загрязняющих веществ.

Показано, что важнейшей чертой современного (1982–1985 гг.) режима озера Севан является дестабилизация экосистемы. Это выражается в неустойчивости режима основных биогенных элементов – снижении концентрации фосфора, повышении и последующем снижении концентрации минерального азота, непредсказуемой смене доминирующих видов фитопланктона, перестройках структуры сообществ консументов.

Рассмотрение разнонаправленных изменений первичной продукции планктона и связанных с ней показателей состояния экосистемы показывают, что процесс деэвтрофирования Севана по многим важным показателям не является полностью обратимым; нельзя также надеяться на то, что он в обозримой перспективе произойдет естественным путем.

10. Результаты математического моделирования динамики биогенных элементов и первичной продукции озера согласуются с общелимнологическими закономерностями и позволяют выявить следующие важные аспекты проблемы. Снижение внешней нагрузки фосфором на 50 % приводит к выраженному уменьшению стабилизировавшегося значения первичной продукции почти вдвое. Изменение внешней нагрузки азотом его почти не изменяет, в то время как до понижения уровня озера развитие автотрофного звена экосистемы озера Севан лимитировалось азотом и зависело от его поступления.

Результаты моделирования и анализ балансовых соотношений указывают на возросшую зависимость экосистемы от внешнего поступления фосфора. Наибольшее деэвтрофирующее воздействие оказывает

повышение уровня и уменьшение биогенной нагрузки со стороны водосборного бассейна.

11. Эвтрофирование озера привело к ухудшению качества вод с точки зрения хозяйственно-питьевого водоснабжения и рекреации. Снизилась прозрачность, содержание кислорода в придонных слоях; увеличилась концентрация соединений минерального азота, возросли биомасса и продукция фитопланктона, численность бактерий.

С точки зрения рыбохозяйственного использования в настоящее время Севан соответствует ксено-олигосапробному типу водоемов, которые характеризуются как пригодные для обитания лососевых и сиговых рыб. Содержание пестицидов и тяжелых металлов в воде озера находится в пределах рыбохозяйственных ПДК.

Качество вод Севана неудовлетворительно для орошения по ирригационной оценке и высокому значению pH.

12. Для замедления процесса эвтрофирования и ограничения антропогенного влияния со стороны водосборного бассейна необходим подъем уровня озера как минимум на 6 м, то есть до отметки 1903,5 м НУБМ, при одновременном осуществлении мероприятий по предотвращению поступления в озеро эвтрофирующих и загрязняющих веществ с водосборного бассейна (канализирование населенных пунктов, рациональная организация сельскохозяйственного производства, создание водоохранных лесонасаждений и др.). Также необходимо создать систему биоэкологического мониторинга озера Севан и его бассейна.

13. Исходя из задач охраны природы и рационального хозяйственного использования, с учетом требований приоритетности, эксплуатация ресурсов озера Севан должна вестись таким образом, чтобы обеспечить максимально высокое качество вод для питьевого водоснабжения и соответствующую этому качеству продуктивность основных видов рыб – форели и сига. Поэтому необходимо пересмотреть принципы эксплуатации природных ресурсов водосборного бассейна Севана с целью управления их качеством и количеством для уменьшения отрицательного воздействия экономики на озеро. Ее развитие на ближайшие годы и в будущем должно осуществляться в строгом соответствии с экологическими императивами, обеспечивающими восстановление и сохранение водных, рыбных и других природных ресурсов озера и его водосборного бассейна.

Основой для реализации указанной концепции должно стать установление интегрального критерия, учитывающего социально-экономические особенности бассейна озера Севан как единого, строго контролируемого эколого-экономического региона, без чего охрана, воспроизводство и использование его природных ресурсов невозможны.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ОЛИГОТРОФИРОВАНИЯ ОЗЕРА СЕВАН

Важнейшим недостатком в деле использования природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна является отсутствие единой хозяйственной политики, учитывающей экологические стороны севанской проблемы. Различные ведомства вкладывают в понятие «рациональное использование природных ресурсов озера Севан» зачастую противоположный смысл.

Необходимо пересмотреть принципы эксплуатации природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна для уменьшения отрицательного воздействия хозяйственной деятельности на лимносистему в целом. Ее развитие в ближайшие годы и в более отдаленном будущем должно осуществляться в строгом соответствии с экологическими требованиями, способствующими сохранению, восстановлению и рациональному использованию водных, рыбных, земельных и других природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна[1].

Поэтому требуется принятие кардинальных решений и их безотлагательное осуществление. Необходимо понимать, что не структурные изменения в системе ведомственной подчиненности, а осуществление комплексных научно обоснованных мероприятий по охране природных ресурсов может и должно явиться залогом оздоровления экологической ситуации всего севанского бассейна.

На наш взгляд, без законодательно установленного критерия, учитывающего социально-экономические и экологические особенности бассейна озера Севан – как отдельного и строго контролируемого эколого-экономического единого региона, – охрана, воспроизводство и использование его природных ресурсов невозможны.

В настоящее время необходимо разработать и в законодательном порядке утвердить единую долговременную эколого-экономическую стратегию (политику) хозяйственной деятельности на озере Севан и в его водосборном бассейне, обеспечивающую охрану, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов региона с возрастающим экономическим эффектом.

[1] Под севанским водосборным бассейном понимаются водосборные бассейны озера Севан, Кечутского и Спандарянского водохранилищ и рек Арпа и Воротан.

Учитывая вышеизложенное, а также крайне дестабилизированное и напряженное состояние экосистемы озера Севан, при котором любое вмешательство может привести к необратимым процессам эвтрофирования и к окончательной потере качества воды, необходимой республике, считаем целесообразным создание авторитетной постоянно действующей комиссии, которая будет проводить следующие мероприятия:

1) всесторонний анализ имеющихся постановлений за последние 20 лет по всем вопросам, связанным с использованием природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна, и при обоснованной необходимости приостановку их действия;

2) экологическое, экономическое и юридическое обобщение и составление заключений, содержащих анализ современного состояния использования природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна;

3) координирование и направление работ по формированию единой «Концепции» (политики) и составлению «Комплексной схемы» по охране, восстановлению, воспроизводству и рациональному использованию природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна, учитывающих экологические, экономические и энергетические особенности севанского региона и республики в целом.

С учетом мирового и отечественного опыта в рассматриваемой постановке вопроса можно выделить следующие ключевые положения применительно к озеру Севан. По предлагаемой к разработке «Концепции охраны, восстановления, воспроизводства и рационального использования природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна»[1] узаконить на государственном уровне нижеследующее:

1. Озеро Севан является перспективным источником питьевого водоснабжения Республики Армении и сопредельных государств и водоемом форелевого (сигового) рыборазведения. Использование природных ресурсов (в том числе водных) озера Севан и его водосборного бассейна в любой отрасли экономики республики производится только таким образом и в таких количествах, что не нарушает питьевые и рыбохозяйственные качества воды озера и его притоков.

2. Охране, восстановлению и воспроизводству подлежат: экологическая система, обеспечивающая питьевые качества воды озера, природные ландшафты побережья, воздушная среда, водные, рыбные, земельные, лесные, охотничье-промысловые и другие природные ресурсы озера Севан и его водосборного бассейна.

3. Рассматривая озеро Севан как потенциальный источник питьевого водоснабжения и исходя из медленного водообмена, нормировать допустимые концентрации загрязняющих веществ в озере и его притоках. Считать недопустимым узаконивать любые изменения состава воды.

[1] Как в «Концепции», так и «Комплексной схеме» не учитывалась эколого-экономическая сторона приватизации природных ресурсов.

По предлагаемой к разработке «Комплексной схеме охраны, восстановления, воспроизводства и рационального использования природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна», на наш взгляд, необходимы следующие шаги:

1. Разработать программу единого критерия рационального использования природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна, сочетающего природоохранные и социально-экономические аспекты указанных регионов.

2. Составить программу основ планирования и ведения народного хозяйства на водосборных бассейнах озера Севан, Кечутского и Спандарянского водохранилищ, рек Арпа, Воротан, полностью подчинив их разработанному единому критерию.

3. Разработать общую стратегию развития производительных сил и в соответствии с ней совершенствовать экономическое развитие севанского региона с выдачей рекомендаций (мероприятий) по ее реализации.

Выбор направлений в реализации предлагаемой к развитию стратегии должен быть осуществлен на основе сопоставления альтернативных вариантов развития региона на базе эколого-экономических параметров, близких к оптимальным.

Вышеизложенное дает основание для осуществления следующих первоочередных рекомендаций:

1. Переориентировать выделяемые капитальные вложения на реконструкцию и технологическое перевооружение промышленных предприятий в водосборном бассейне озера, а также перепрофилирование отдельных производств с применением экологически чистых технологий.

2. Изменить технологию и структуру сельскохозяйственного производства как в растениеводстве, так и животноводстве.

3. Нормировать и планировать развитие рекреационных комплексов в регионе.

4. Разработать правила, а также методические указания по охране водных ресурсов экосистем озера Севан и его притоков, Спандарянского и Кечутского водохранилищ, рек Арпа и Воротан.

5. Законодательно установить нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) и предельно допустимых выбросов (ПДВ) от источников загрязняющих и токсических веществ в результате хозяйственной деятельности в виде «экологически особо опасных, умеренно опасных и быстроразлагающихся веществ» с достижением в перспективе удельных эколого-экономических показателей в целях обеспечения требуемого уровня функционирования экосистем озера Севан и его притоков, а также Спандарянского и Кечутского водохранилищ и рек Арпа и Воротан.

6. Создать сеть экологического мониторинга (вода, воздух, суша) с постоянным контролем концентрации эвтрофирующих, токсических

и загрязняющих веществ на водосборных бассейнах озера Севан, Спандарянского и Кечутского водохранилищ, рек Арпа, Воротан с единым центром обработки и передачи информации[1].

7. Создать санитарно-водоохранные зоны шириной не менее 100–200 м по всему берегу озера Севан и его притоков, а также Кечутского и Спандарянского водохранилищ, рек Арпа и Воротан. Это будет способствовать биологической фильтрации и освобождению грунтовых и поверхностных вод от биогенных элементов и других загрязняющих и токсических веществ, а также восстановлению фауны и флоры, специфичных для водно-лесных биоценозов.

В санитарно-водоохранных зонах необходимо запретить загрязнение воздуха, воды и суши, прямой сброс в водоемы и реки бытовых, промышленных и сельскохозяйственных стоков, подкрепить соответствующими законодательными актами научно обоснованное планирование особых правил культурно-бытовой и рекреационной деятельности, охоты, любительского и промышленного рыболовства, предусмотреть особые требования к историко-архитектурным памятникам и другие требования, характерные для строго контролируемых санитарно-природоохранных зон.

Стержнем разработки «Комплексной схемы охраны, восстановления, воспроизводства и рационального использования природных ресурсов озера Севан и его водосборного бассейна» должны стать предельно допустимые нормы любого антропогенного воздействия на экосистему и правила охраны водных, рыбных и других природных ресурсов экотонов озера Севан и его притоков, а также Кечутского и Спандарянского водохранилищ, рек Арпа и Воротан.

Исходя из приоритетности задач охраны природы и оптимального народно-хозяйственного ресурсопользования, эксплуатация природных ресурсов Севана должна вестись с учетом обеспечения максимально высокого качества вод озера для питьевого водоснабжения и соответствующей этому качеству продуктивности основных видов рыб – форели и сига.

Учитывая это, следует признать, что для восстановления качества воды и продуктивности ценных пород рыб озера Севан на основании теоретического обобщения современных представлений о процессах его эвтрофирования необходимо реализовать ряд конкретных и практических мероприятий по управлению процессом олиготрофирования. Они должны осуществляться в обеих – ОЗЕРО и ВОДОСБОРНЫЙ БАССЕЙН – подсистемах экосистемы озера Севан.

---

[1] На наш взгляд, базой для решения вышеуказанных комплексных научных и прогностических проблем могут стать результаты гидроэкологических и гидробиологических исследований, так как для экологических систем в целом (от региональных до глобальных) подсистема «вода» является интегрирующей процессов, которые в основном происходят в двух других подсистемах – «воздух» и «суша», – при этом следует обратить особое внимание на экотоны указанных подсистем.

Подсистема «ОЗЕРО»
(требуются десятилетия)

На основании всестороннего анализа всего материала абиотических и биотических факторов эвтрофирования озера Севан (1920–1990 гг.), математического моделирования автотрофного звена и основных положений современной лимнологии Институтом гидроэкологии и ихтиологии НАН Армении установлено, что для замедления интенсивности эвтрофирования озера Севан и ускорения его дальнейшего олиготрофирования необходим подъем уровня озера как минимум на 6 м (до 1903,5 м НУБМ) при одновременном осуществлении мероприятий по предотвращению поступления в озеро эвтрофирующих и загрязняющих веществ с водосборного бассейна.

Подъем уровня озера будет осуществлен следующими мерами:

1) увеличением речного притока в озеро путем распределения речного стока бассейна р. Кура (в озеро с 1981 г. переброшена часть стока р. Арпа, заканчиваются работы по переброске р. Воротан);

2) уменьшением поверхностного стока из озера вследствие строительства в республике системы водохранилищ для нужд орошения.

Следует учесть, что осуществление переброски воды в озеро Севан содержит угрозу дополнительного поступления эвтрофирующих и загрязняющих веществ из водосборных бассейнов перебрасываемых рек Арпа, Воротан, Кечутского и Спандарянского водохранилищ.

Поэтому необходимы конкретные и своевременные мероприятия на водосборных бассейнах указанных рек и водохранилищ, максимально предотвращающие поступление в озеро антропогенных биогенных и токсических веществ.

Повышение уровня озера Севан минимум на 6 м приведет к увеличению термостабильности озера, сроков температурной стратификации и прозрачности, улучшению кислородного режима придонных слоев воды, к постепенному восстановлению макрофитных зон, снижению трофического статуса озера и, как следствие, к уменьшению продукции гетеротрофов.

В результате осуществляемых мер (ввод в строй туннеля Арпа – Севан, ограничение попусков из озера) процесс повышения уровня Севана становится реальностью.

Однако наряду с несомненно положительными последствиями этого процесса всё более актуальными становятся его возможные негативные аспекты. Так, вследствие повышения уровня озера Севан подвергнутся затоплению обширные территории, покрытые лесными насаждениями. Разложение в течение длительного времени затопленной древесины станет существенным источником вторичного загрязнения озерной воды. Одновременно затопленная растительность станет препятствием для промыслового рыболовства.

Мировой опыт использования ресурсов водоемов с изменяющейся морфометрией показывает, что существует единственный путь нивелирования отрицательных последствий повышения уровня озера – удаление древесины с затапливаемых площадей в период, предшествующий затоплению.

Исходя из изложенного, необходима разработка и реализация в возможно короткие сроки программы по постепенному удалению лесонасаждений с прибрежных территорий в бассейне озера Севан, подлежащих затоплению вследствие повышения уровня озера. Сведение лесов на затапливаемых территориях должно вестись опережающими темпами, в зависимости от крутизны берега, на 2–3 года по отношению к затоплению. Одновременно с удалением лесонасаждений должны проводиться мероприятия по лесоразведению в бассейне озера Севан выше отметки 1905,5 м НУБМ (на 8 м выше нынешней нулевой отметки озера Севан).

Подсистема «ВОДОСБОРНЫЙ БАССЕЙН»
(требуется от одного года до нескольких лет)

В условиях существующего значительного антропогенного влияния водосборного бассейна на лимносистему озера Севан возникает острая необходимость срочного решения задачи сочетания дальнейшего экономического развития в бассейне озера с требованиями охраны и восстановления качества вод озера и его притоков и рационального использования их биологических ресурсов. Поэтому необходимо коренным образом пересмотреть принципы подхода, а также направлений отраслей народнохозяйственной деятельности в бассейне озера Севан.

Для предотвращения поступления эвтрофирующих и загрязняющих веществ в озеро Севан и его притоки необходимо реализовать нижеследующие мероприятия[1] в коммунально-бытовом хозяйстве, промышленности и во всех видах аграрной деятельности.

Население

1. Разработать мероприятия по эколого-экономическому районированию и программу внутрихозяйственного планирования с природоохранным уклоном и обеспечением занятости населения.

2. Разработать программу по ограничению искусственного прироста населения и усилить контроль антропогенной нагрузки на водосборном бассейне озера Севан.

[1] Мероприятия разработаны совместно с А.И. Бродганделем (Армгипрозем), Л.А. Чилингаряном (Институт водных проблем РАН), Р.С. Исхановым (Институт экономики НАН РА), которым автор выражает искреннюю благодарность.

3. Дать приоритет строительству канализационной сети в городах Камо, Мартуни и Варденис с параллельным строительством современных очистных комплексов с предварительной биологической и химической очисткой для указанных городов.

Осуществить природное доочищение сточных вод в искусственных водоемах или прудах и уже потом сбрасывать их в реки или использовать в различных отраслях народного хозяйства.

Промышленность

1. Разработать мероприятия по предотвращению загрязнения озера и его притоков от источников промышленных стоков путем совершенствования технологии производства с переходом на оборотное водоснабжение, в противном случае – осуществить перепрофилирование, закрытие или вывод ряда промышленных и перерабатывающих предприятий за пределы севанского бассейна.

2. Разработать мероприятия по сбросу, переработке и вторичному использованию коммунально-бытовых, промышленных твердых и трудно разлагающихся отходов.

3. Принять меры по прекращению добычи строительных материалов и других природных ресурсов в пределах севанского бассейна без особого на это разрешения со строжайшим природоохранным контролем. Необходимо разработать экологически и научно обоснованные рабочие проекты по рекультивации нарушенных земель.

4. Запретить загрязнение водных источников и оросительных каналов сточными водами промышленных, коммунальных и животноводческих хозяйств и установить строгий контроль по его недопущению.

5. Безотлагательно начать строительство и реконструкцию локальных очистных сооружений районных и городских предприятий и промышленных комплексов. Узаконить категорическое запрещение функционирования любого предприятия без собственных очистных сооружений, если того требует механический и химический состав сбросов данного производства.

Мелиорация

1. Осуществить строительство новых и обеспечить завершение строительства начатых водохозяйственных объектов и малых водохранилищ в республике с целью уменьшения попусков воды из озера для орошения.

2. Произвести спрямление и укрепление (инженерное и растительное) берегов и дна, а также санитарную очистку всех рек (особенно нерестовых) бассейна Севана.

3. Произвести реконструкцию оросительной сети и разработать прогрессивные методы орошения, исключающие ирригационную эрозию почв севанского бассейна.

4. Провести обследование с целью выявления ареала воздействия загрязненных грунтовых вод и на этой основе разработать мероприятия по их перехвату на особо загрязненных участках путем строительства дренажных коллекторов со сбросом этих вод в канализационный коллектор или очистные сооружения.

Растениеводство

1. Разработать научно обоснованные системы ведения земледелия сельскохозяйственных зон. Пересмотреть структуру и размещение сельхозкультур севанского бассейна с целью перехода от монокультур к поликультурам.

2. Внедрить систему агротехнических временных мероприятий, обеспечивающих оптимальный урожай сельхозкультур с применением максимально ограниченного количества минеральных удобрений, учитывающую имеющиеся концентрации азота и фосфора в почвогрунтах.

Полностью пересмотреть структуру применения минеральных удобрений в бассейнах озера Севан, Кечутского и Спандарянского водохранилищ, рек Арпа, Воротан, отдав предпочтение тем видам удобрений, которые характеризуются наименьшими значениями коэффициентов выноса.

3. Разработать и внедрить методы полного перехода от применения минеральных к применению органических видов удобрений (навоз, компост, торф и т.д.) как экологически менее вредных.

4. Разработать по эколого-экономическим районам и хозяйствам севанского бассейна и внедрить почвозащитные севообороты, увеличив долю многолетних кормовых культур за счет сокращения переноса пропашных культур за пределы зон активного воздействия.

5. Разработать комплекс мероприятий по улучшению естественных кормовых угодий для повышения продуктивности пастбищ и сенокосов, полностью исключая применение минеральных удобрений и ядохимикатов, широко внедряя систему многолетних культурных пастбищ и пастбищеоборота на естественных кормовых угодьях.

6. Провести повсеместно полное почвенное, почвенно-эрозионное и агрохимическое обследование бассейнов озера Севан, Кечутского и Спандарянского водохранилищ для выявления изменений свойств почв, а также степени их антропогенного загрязнения, направленное на защиту почв и охрану водной и воздушной среды.

7. Разработать и провести природоохранные мероприятия по рациональному ведению сельского хозяйства на эрозионных и эрозионно-опасных почвах.

8. Разработать и провести мероприятия по созданию в севанском бассейне противоэрозионных и противоселевых лесных полос.

9. Разработать и внедрить систему повышенных закупочных цен на экологически чистую сельскохозяйственную продукцию (овощи, зелень, мясо, фрукты и т.п.), произведенную без применения всех видов минеральных удобрений и ядохимикатов.

10. Осуществить обеспечение всех видов хозяйств (частных и государственных) необходимой сельхозтехникой для почвозащитного земледелия.

Учитывая дестабилизированное состояние озера и то, что наблюдаемое прогрессирующее накопление ядохимикатов, тяжелых металлов и других токсических веществ в воде и в гидробионтах может привести к глубоким, необратимым структурно-функциональным нарушениям всей экосистемы озера, необходимо:

11. На сельхозугодьях ниже отметки 2300 м НУБМ строго запретить применение всевозможных ядохимикатов и других химических веществ, внедряя биологические методы борьбы против любых вредителей сельскохозяйственных культур.

12. На сельхозугодьях выше отметки 2300 м НУБМ возможно применять биологически обоснованное, минимальное количество ядохимикатов, строго соблюдая форму, методы, а также выбор, нормы расхода и время внесения препаратов.

13. Необходимо разработать систему защитных мероприятий и методов обезвреживания остатков ядохимикатов в почве и в оросительной воде, блокирующих их вынос в озеро и его притоки.

Животноводство

1. В целях повышения продуктивности естественных кормовых угодий и сенокосов, а также сокращения количества органических форм азота, фосфора и других ингредиентов экскрементов животных, смываемых в озеро и его притоки, животноводческие фермы, находящиеся в экологически опасных зонах на водосборных бассейнах озера Севан, Кечутского и Спандарянского водохранилищ, рек Арпа, Воротан, перевести в нейтральные зоны, где необходимо строительство навозохранилищ, отвечающих современным требованиям охраны природы.

2. Для предотвращения процессов эрозии почв вследствие нерационального использования природных кормовых угодий и перегруженности мелким рогатым скотом по всему севанскому бассейну необходимо произвести научно обоснованное изменение соотношения поголовья мелкого и крупного рогатого скота.

Рыбное хозяйство

Для разработки научных основ восстановления, охраны и рационального использования рыбных ресурсов Севана и других водоемов Армении необходимо проведение следующих рыбоводно-мелиоративных мероприятий:

1. Орошение государственных и частных сельхозугодий, а также техническое водоснабжение различных отраслей экономики проводить путем забора воды непосредственно из озера, категорически запретив использовать для этих целей воду из основных нерестовых рек и их источников.

2. Исключить дальнейшее планирование, проектирование и строительство гидротехнических сооружений и других объектов на нерестовых реках и вблизи озерных нерестилищ рыб, кроме тех природоохранных сооружений, которые имеют необходимое экологическое обоснование.

3. Запретить практикуемое в настоящее время изменение отдельных участков русел рек, приводящее к увеличению скорости течения, вследствие чего может происходить снос гидробионтов и икры, а также молоди рыб.

4. Запретить необоснованную интродукцию новых видов фауны и флоры в Севан и другие водоемы Армении, обеспечив строгий карантинный контроль со стороны рыбоохранных организаций и соответствующих ведомств, в ведении которых находятся данные водоемы.

5. Для восстановления и сохранения экологического равновесия и трофической сети безотлагательно принять меры для охраны рыбных запасов Севана, поскольку браконьерский вылов и хищения с промыслов могут нанести непоправимый экологический ущерб не только рыбному хозяйству, но и всей экосистеме озера.

6. Все виды рыболовства (промысловое, любительское и др.), а также вопросы, связанные с акклиматизацией рыб в озере Севан и других водоемах Армении, проводить только после согласования и с ведома Института гидроэкологии и ихтиологии НАН Армении на основании научно-практических рекомендаций.

7. Создать в республике современную научно-техническую базу для управления рыбным хозяйством (рыбоводство и рыболовство) с привлечением зарубежного научно-технического потенциала (рыбоводные и кормозаводы, научная аппаратура, обмен специалистами и т.д.).

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Республика Армения как географический регион находится в сложном неуравновешенном экологическом состоянии, которое является закономерным следствием сиюминутной, необдуманной и потребительской политики в отношении к природе.

В последние 50–60 лет в энергетике и экономике применялись такие инженерно-технические решения, которые давали возможность с минимальными затратами максимально использовать природные ресурсы, абсолютно игнорируя любые экологические последствия.

В результате абсолютно нерационального использования вод озера для развития энергетики и экономики республики экосистема Севана претерпела глубокие экологические преобразования.

До сих пор возникающие природные задачи, с одной стороны, и социально-экономические проблемы – с другой рассматривались отдельно. Никогда не ставилась задача оценки ущерба, наносимого природным ресурсам (со всеми вытекающими социально-экономическими последствиями), и соотношения между этим ущербом и полученной экономической выгодой.

Так, до сих пор не оценены социально-экономические последствия понижения уровня озера Севан, его эвтрофирования и загрязнения, экологические преобразования из-за переброски рек из других регионов, а также засоление земель Араратской долины, на рассоление которых сейчас тратятся огромные средства.

Сегодня первоочередной, фундаментальной задачей является разработка комплексного эколого-экономического подхода для нахождения «золотой середины» между нулевым использованием природных ресурсов (как, например, в заповедниках) и эксплуатацией, ведущей к некомпенсируемому ухудшению качества среды обитания. Думается, именно такое использование природных ресурсов будет и разумным, и рациональным.

Вышесказанное конкретизируется в двух закономерностях:

1) развитие общества только по энергетическим и экономическим критериям, несомненно, приводит к экологическим кризисам.

2) развитие общества только по экологическим критериям приводит к энергетическим и экономическим кризисам.

К сожалению, это наглядно продемонстрировано на примере нашей республики.

Армения до 1989 г. – это пример первой закономерности, когда в определении возможных последствий преобразования природы и мест строительства предприятий химической промышленности, по добыче и переработке руды, ТЭЦ, различных фабрик и заводов и многого другого учитывались только экономические выгоды, а географические особенности и климатические условия служили только для технических решений данного объекта. Не учитывались также возможности утилизации вредных выбросов, сточных вод, ареал их распространения, эрозия почвы и многое другое. Аналогичный подход проявился не только в промышленности и энергетике, но и в сельском хозяйстве (растениеводство, животноводство) и во всех остальных (коммунальное хозяйство, рекреация и т.д.) видах экономической деятельности.

Другой пример – для развития энергетики и экономики республики использование водных ресурсов озера было необходимым и оправданным. Но игнорирование экологических норм привело к тому, что проблема использования водных ресурсов озера стала проблемой самого озера. Основная причина – отсутствие законодательно утвержденных критериев использования природных ресурсов озера Севан. Основой закона, на мой взгляд, может служить формулировка, приведенная мною далее (см. с. 291).

После провозглашения независимости Армении (с 1989 г.) мы перешли на второй, не менее, а может быть более, неприемлемый путь (вторая закономерность).

«Экологи» («зелёные», представители различных общественных и официальных организаций) потребовали закрытия Армянской АЭС, НИО «Наирит», Алавердского горно-металлургического комплекса, Кироваканского химкомбината, разданских энергопромышленных комлексов и т.д., чтобы по их «научно обоснованным» доводам улучшилось экологическое состояние республики.

Это привело к крайнему экономическому и энергетическому кризису в республике со всеми отрицательными экономическими последствиями (к массовой рубке деревьев, недопустимому уровню санитарии, вторичной дестабилизации экосистемы Севана – увеличению попусков воды).

Учитывая вышеприведенные закономерности, а также для улучшения экологического состояния Армении необходимо было идти по пути научно обоснованных и разработанных преобразований, а не принимать непрофессиональные поверхностные решения. Важно помнить, что некомпетентное решение любого экологического вопроса, а тем более решения, противоречащие элементарной логике, если не сегодня, то в самом ближайшем будущем будут еще более усугублять энергетическое, экологическое и экономическое и без того крайне напряженное состояние в республике.

Обобщая сказанное, а также учитывая две вышеприведенные закономерности, можно вывести следующий закон – закон «Трёх Э»:

«Динамично прогрессирующее социально-экономическое развитие любого географического региона с минимальным нарушением природной среды зависит от способности государства управлять двусторонними взаиморегулируемыми связями между экологией, энергетикой и экономикой».

В современных условиях вследствие создания новых промышленных и сельскохозяйственных районов, многотысячных населенных центров в республике произошли масштабные антропогенные преобразования целых природных ландшафтов и географических зон. Здесь возникает огромное количество острых социально-экономических проблем, связанных с определением оптимальных путей развития экономики с восстановлением (деантропогенизацией) деградированных экосистем, с минимизацией загрязнения окружающей природной среды.

На пути решения указанных проблем усвоение закона «Трёх Э» необходимо не только руководящим работникам и широкому кругу специалистов, работающих в различных отраслях народного хозяйства, но и экологам (биологам, геологам, химикам и др. специалистам), которые категоричны в отношении «чистой, нетронутой природы» и забывают, что для развития человечества кроме экологической чистоты необходимо прогрессирующее развитие энергетики и экономики.

Поэтому объективная, научно обоснованная оценка и прогнозирование экологической ситуации требуют усиления комплексных экологических и эколого-социологических исследований, всесторонне учитывающих специфику исследуемого природного региона.

Закон «Трёх Э» и политика

С экологической точки зрения любое государство как отдельный самостоятельный социально-экономический и административный субъект есть часть целостного экологического региона, куда могут входить десятки государств, имеющих различный уровень социально-экономического развития и политический строй. Так, часть государственных территорий Армении по водосборному бассейну реки Кура входит в единый экологический регион с государственными территориями Грузии и Азербайджана, а другая часть – по водосборному бассейну реки Аракс – в экологическую систему с Турцией, Ираном, Азербайджаном.

В таких условиях экологические нарушения, независимо от характера взаимоотношений между государствами региона – добрососедства или вражды, – приводит к отрицательным последствиям для их территорий. Поэтому «экологически кризисное» государство, желает оно того или нет, имеет экономические возможности или нет, рано или поздно обязано

будет все свои возможности мобилизовать на улучшение экологического состояния своей административной территории, в противном случае оно вынуждено будет сделать это под экономическим или политическим нажимом соседних государств.

Поэтому при решении любых экономических и энергетических задач в цивилизованном государстве в первую очередь учитываются экологические закономерности.

Анализ развития экологии как науки и связанных с ней разделов других дисциплин в Армении, к сожалению, показывает, что фундаментальные и прикладные научные исследования в данной области знаний разрозненны и в основном недостаточно развиты, из-за чего существует явное несоответствие между задачами, стоящими в различных областях взаимоотношения общества и окружающей среды, и разработкой фундаментальных и прикладных основ в решении этих задач.

Учитывая сказанное, настало время Национальной академии наук Армении, Министерству высшего образования и науки и Министерству просвещения обратить особое внимание на стимулирование развития экологической науки, разработать и принять необходимые меры к ликвидации заметного отставания экологического направления в республике от требований жизни и практической деятельности человека.

Таким образом, экологическая политика – это одно из главных направлений общей политики любого цивилизованного государства, а также один из основных путей, обеспечивающих внутри- и межгосударственные политические, экономические, энергетические, социальные и культурные обоюдовыгодные взаимоотношения. Правильная ориентация в фундаментальных экологических закономерностях может обеспечить еще большее продвижение вперед по многим вопросам в решении различных межгосударственных политических задач.

Все зависит также от того, кто обеспечивает экологическую политику данного государства: группа людей, знающих некоторые природоохранные мероприятия на любительском, общесанитарном или митинговом уровне, – или высококвалифицированные специалисты-экологи.

Поэтому было бы правильным создать на уровне президентского аппарата или непосредственно при Совмине республики специальную экологическую комиссию, подчиненную только первому лицу (с привлечением в нее высококвалифицированных специалистов-экологов, экологов-экономистов, энергетиков, социологов, компетентных представителей других отраслей, имеющих богатый практический опыт), которая бы координировала и направляла все фундаментальные и прикладные направления в экологии и контролировала бы экологическую и природоохранную ситуацию в республике. Она консультировала бы правительство, обеспечивая научно обоснованную экологическую экспертизу всех важных энергетических и экономических задач.

* * *

P.S. Выход в свет настоящей книги планировался еще в 1989 г. Но, к сожалению, в силу различных, не от меня зависящих причин издание данной монографии стало возможным лишь в 1994 г. За это время ни одно из предложенных в монографии мероприятий по деэвтрофированию экосистемы водоема не было осуществлено. Более того, уровень озера понизился на 1,9 м. Браконьерство и хищения севанских рыб приняли огромные масштабы. «Вынужденное» понижение уровня озера, а также неконтролируемое изъятие половозрелого стада севанских рыб привели к повторному увеличению годовой первичной продукции (до 4000–5000 ккал/м^2), подрыву рыбных запасов и, как следствие, к глубокой вторичной дестабилизации всех процессов олиготрофирования лимносистемы Севана в целом.

К сожалению, мои многократные обращения к высшим инстанциям ни к чему не привели. Думаю, что при продолжении указанного безответственного отношения к жемчужине Армении название монографии «Озеро Севан вчера, сегодня…» оправданно.

Հայաստանների գիտությունների ազգային ակադեմիա
Հիդրոէկոլոգիայի և ձկնաբանության ինստիտուտ

Հասարակական գիտությունների ինֆորմացիոն կենտրոն
Ռ. Հ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՍԵՎԱՆԱ ԼԻՃԸ ԵՐԵԿ, ԱՅՍՕՐ ...

Պատասխանատու խմբագիր՝ կենսաբանական գիտությունների
դոկտոր **Օ.Պ. ՕԿՍԻՅՈՒԿ**

Երևան 1994

ԳԼՈՒԽ 1.
ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՊՐՈԲԼԵՄԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՊԱՏՄՈՒԹՅՈՒՆԸ

Հայաստանը սակավաջուր պետություն է, ուստի ջրային պաշարների ռացիոնալ օգտագործման խնդիրն այստեղ դրված է առավել սրությամբ: Սևանա լիճը, մինչև նրա մակարդակի իջեցումը, շնորհիվ իր բարձր լեռնային դիրքի (Բալթիկ ծովի մակերևույթից բարձր է 1916,2 մ), ջրային մեծ ծավալի (58,5 կմ^3) և էնդեմիկ ձկների արժեքավոր տեսակների, միշտ եղել է հետազոտությունների ուշադրության կենտրոնում:

Այդ իսկ պատճառով ժամանակին առաջին պլան է մղվել լճի ջրային և ձկնային պաշարների արդյունավետ օգտագործման խնդիրը, որի տեսական հիմունքների մշակումը սկսվել է դեռևս անցած հարյուրամյակից: Ըստ Սերյանի (1910) և Եղիազարովի (1923) մոտավոր հաշվարկների՝ Սևանի ջրի ծախսի գլխավոր պատճառը գոլորշիացումն էր՝ տարեկան 1150 մլն մ^3, որը կազմում էր լիճ թափվող ջրի ընդհանուր քանակի 85-90%-ը:

Այս փաստարկով էլ հիմնավորվեց Սևանի ջրային ռեսուրսների օգտագործման նախագիծը, համաձայն որի պլանավորվեց 50 տարիների ընթացքում օգտագործել լճի ջրերի դարավոր ռեսուրսները՝ ջրամբարից տարեկան բաց թողնելով 1025 մլն մ^3 ջուր՝ 650 մլն մ^3 էներգետիկ և 375 մ^3 ոռոգման նպատակների համար:

Այսպիսով, նախատեսվեց լճի մակարդակն իջեցնել 50 մետրով, չորացնել մեծ Սևանը և այն օգտագործել որպես ցանքատարածություն: Արդյունքում կմնար մի փոքրիկ լճակ՝ 239 կմ^2 մակերեսով:

Համաձայն այս սխեմայի՝ Սևանա լճի մակարդակի իջեցման աշխատանքները սկսվեցին 1933թ., որը և հետագայում բնութագրվեց որպես Սևանի պրոբլեմի առաջացման <u>առաջին փուլ</u>:

Արդեն 50-ական թվականների վերջում պարզ դարձավ, որ լճի մակարդակը 50 մետրով իջեցնելու ծրագիրը ոչ միայն սխալ էր, այլ պահանջում էր որոշակի արմատական ճշգրտումներ՝

1. Ազատված հողատարածությունների յուրացումը գյուղատնտեսա-

կան նպատակներով չհաջողվեց, քանզի հողառաջացումն այստեղ ընթացել էր օքսիդացման պրոցեսների գերակշռությամբ:

2. Պարզվեց նաև, որ ժողովրդական տնտեսության հետագա զարգացման համար Սևանից ստացվող էլեկտրաէներգիան բավարար չէր, իսկ նոր կառուցվող ՋԷԿ-երի և ԱԷԿ-ի աշխատանքը հնարավորություն կտար կըրճատել Սևանից բաց թողնվող ջրի քանակը:

3. Հաշվարկները ցույց տվեցին, որ սոցիալ-տնտեսական պայմանները դարի վերջում հանրապետությունում կսահմանափակեն խմելու ջրի պաշարները, մինչդեռ Սևանա լիճը Հայաստանի քաղցրահամ ջրի միակ աղբյուրն է:

Հաշվի առնելով վերը հիշատակվածը, ինչպես նաև այնպիսի ինքնատիպ ջրամբարի մասնակի ոչնչացման վտանգը, ինչպիսին Սևանն է, վերանայվեց լճի ջրի օգտագործման նախնական սխեման և ընդունվեց Սևանի մակարդակը բնականին մոտ պահելու նոր որոշում: Այդ ժամանակաընթացքում (1959թ.) լճի մակարդակն արդեն իջել էր 13,7 մետրով:

Սևանի պրոբլեմի <u>երկրորդ փուլը</u> սկսվում է 60-ական թվականներից: Ծնունդ է առնում նոր գաղափար՝ Սևան - Հրազդան կասկադն աշխատեցնել ամբողջ հզորությամբ՝ ի հաշիվ այլ տարածաշրջանների ջրահավաք ավազաններից Սևանի ավազան ջրերի տեղափոխման: Ելնելով դրանից՝ 1961թ. որոշվում է Արփա գետի ջրերը (տարեկան 250 մլն մ^3) 48 կմ երկարություն ունեցող ստորգետնյա ջրատարով տեղափոխել լիճ (նկ. 21):

Հաշվի առնելով Արփա-Սևան ջրատարի, ինչպես նաև հանրապետության այլ շրջաններում լրացուցիչ ջրատնտեսական օբյեկտների կառուցման համար անհրաժեշտ ժամանակը՝ 1962թ. որոշվում է սահմանափակել լճի մակարդակի հետագա իջեցումը (18 մ-ից ավելի)՝ պահելով այն ծովի մակերևույթից 1898 մ բարձրության վրա:

Այնուամենայնիվ, ջրի մակարդակը շարունակում էր իջնել և արդեն 1980թ. հասավ 18,8 մետրի, ինչի հետևանքով լճի մակերեսը կրճատվեց 12,2, իսկ ծավալը՝ 42,2%-ով:

Դժբախտաբար, Սևանա լճի ջրային ռեսուրսների շահագործման ոչ մի փուլում լրջորեն չքննարկվեցին ջրի որակի[1] ձևավորման և ձկնարտադրության վրա լճի ձևաչափական փոփոխությունների ազդեցության գիտական և գործնական հարցերը:

Սևանի մակարդակի իջեցման հետ մեկտեղ էական փոփոխություններ տեղի ունեցան նաև նրա ջրահավաք ավազանում. բնակչության թիվն աճեց մի քանի անգամ՝ հիմնականում ի հաշիվ քաղաքաբնակների, էքստենսիվ և ինտենսիվ զարգացման ժողովրդական տնտեսության այնպիսի ճյուղեր, ինչպիսիք են արդյունաբերությունը, շինարարությունը, տրանսպորտը, գյուղատնտեսությունը և այլն:

Հանքային և օրգանական պարարտանյութերի ոչ արդյունավետ կիրառման, գյուղատնտեսական վնասատուների դեմ պայքարի քիմիական

[1] «Ջրի որակ» հասկացությունը էկոտոքսիկոլոգիական չափանիշ է, որով բնորոշվում են ջրի ֆիզիկական, քիմիական և կենսաբանական հատկանիշները՝ որակավորելով այն որպես խմելու, տնտեսական կամ այլ նպատակների համար օգտագործվող ջուր:

միջոցների օգտագործման հետևանքով զգալիորեն աճեց նաև կենսածին տարրերով, ծանր մետաղների աղերով և թունաքիմիկատներով հարուստ՝ լիճ թափվող հոսքային ջրերի քանակը։

Սևանա լճի էվտրոֆացման[2] առաջին նշանները դրսևորվեցին 1964թ.՝ կապտականաչ ջրիմուռների բուռն աճով, ինչը բնութագրվեց որպես լճի «ծաղկում»։ Հետագայում այս պրոցեսը գնալով ավելի խորացավ, տեղի ունեցավ օլիգոտրոֆ-էվտրոֆային սուկցեսիա, որը լճային էկոհամակարգում սովորաբար ուղեկցվում է նյութերի շրջանառության պրոցեսների անկայունացմամբ՝ պատճառ դառնալով ջրի որակի վատացման։

Այստեղից պարզ է դառնում, որ Սևանի պրոբլեմի լուծման գիտական հիմնավորումը հնարավոր է միայն ողջ ջրամբարի ձևաչափական փոփոխությունների արդյունք հանդիսացող լճային էկոհամակարգի գործունեության մեխանիզմների վերակառուցումների խորը լճաբանական (լիմնոլոգիական) ուսումնասիրությամբ։

Եթե Սևանի պրոբլեմի ծագման վաղ շրջաններում գերակշռում էր լճի ջրային ռեսուրսների օգտագործման խնդիրը, ապա այսօր առաջնահերթ է դարձել Սևանա լճի և նրա ջրահավաք ավազանի բնական ռեսուրսների (հատկապես ջրային և ձկնային) վերականգնման և ռացիոնալ օգտագործման պրոբլեմը։

Այսպիսով, Սևանի պրոբլեմի <u>երրորդ փուլը</u> բնութագրվում է ոչ միայն լճի և նրա ջրահավաք ավազանի բնական ռեսուրսների օգտագործման, այլև նրանց պահպանման և վերականգնման խնդիրներով։

Ընդհանրացնելով ասվածը՝ գտնում ենք, որ Սևանի պրոբլեմի երրորդ փուլում լճի էվտրոֆացման պատճառները բազմակողմանիորեն հասկանալու, լճում հիդրոէկոլոգիական փոփոխությունների ուղղությունները կանխագուշակելու, ինչպես նաև լճի մակարդակը գիտականորեն պլանավորված ձևով բարձրացնելու համար անհրաժեշտ է լիմնոլոգիական մոտեցում՝ հիմնավորված լճի ներջրամբարային, ինչպես նաև ջրահավաք ավազանում ընթացող բազմակապ բարդ պրոցեսների փոխազդեցության կոմպլեքս գնահատմամբ (նկ. 1)։

[2] Էվտրոֆացում նշանակում է էկոհամակարգում սնուցման մակարդակի բարձրացում, այսինքն՝ ջրամբարներում օրգանական նյութի նորագոյացում և կուտակում, որն առաջանում է կենսաբանական սինթեզի պրոցեսում։

ԳԼՈՒԽ 2.
ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՋՐԱՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԱՇԽԱՐՀԱԳՐԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Սևանի ջրահավաք ավազանը (4891 կմ²) պատկանում է Արաքս գետի ավազանին (նկ. 2, 3, 4)։ Այն իրենից ներկայացնում է լեռներով շրջապատված մի խոշոր տեկտոնական իջվածք, որի հյուսիս-արևմտյան մասում ավազանի ջրբաժանը ցածրանում է մինչև լճի մակարդակը։ Այստեղից սկիզբ է առնում լճից դուրս եկող միակ գետը՝ Հրազդանը։ Ջրաբաժան գծի ընդհանուր ձգվածությունը մոտ 400 կմ է (նկ. 3)։

Սևանա լիճը և նրա ավազանը վերջնականորեն ձևավորվել են 25-30 հազար տարի առաջ (նկ. 5, 7)։ Լիճը բաղկացած է երկու մասից՝ Փոքր (ՓՄ) և Մեծ (ՄՄ) Սևաններից, որոնք միմյանցից տարբերվում են թե հասակով, թե ծագումով (նկ. 8)։

Սևանա լիճը եզերող լեռնաշղթաների բարձրությունը տատանվում է Բալթիկ ծովի մակերևույթից (ԲԾՄ) 2200-3800 մ-ի միջև։

Լճի նկատմամբ ռելիեֆային թեքության աստիճանը միջին հաշվով յուրաքանչյուր 1000 մետրի վրա կազմում է 50-80 մետր, հարաբերական թեքությունը՝ 0,13-0,35 կամ 9-ից 24 աստիճան (նկ. 11)։

Հարթավայրային ջրամբարների համեմատ լճի մակերեսին ընկնող արեգակնային գումարային ճառագայթումը բավականին բարձր է (ՓՄ - 150 կկալ/սմ² տարի, ՄՄ - 158 կկալ/սմ² տարի)։ Վերջին տարիներին այդ մեծությունը մի քիչ փոքրացել է[3] (նկ. 13)։

Օդի միջին ամսական ամենաբարձր ջերմաստիճանը գրանցվում է օգոստոս ամսին՝ 14-17 աստիճան, իսկ ամենացածրը՝ հունվարին՝ 8-4 աստիճան։ Միջին տարեկան ջերմաստիճանը տատանվում է 3-6 աստիճանի սահմաններում (նկ. 14)։ Հարաբերական խոնավությունը տարբեր ամիսներին տատանվում է 60-80% (նկ. 15)։

---

[3] Հայերեն տարբերակում հեղինակները չեն նշվում. դրանք կան ռուսերեն տեքստի համապատասխան բաժիններում։

Սևանի ավազանում քամիները հաճախակի երևույթ են, ըստ որում՝ տարբեր շրջաններում փչում են տարբեր ուղղությամբ: Ամռանը քամու ազդեցությունը հասնում է 1,5-3,0 մ/վրկ, իսկ ձմռանը՝ 3,0-5,0 մ/վրկ (նկ. 16):

Վերջին տարիներին լճի հիդրոէկոլոգիական ռեժիմի փոփոխության հետ կապված փոփոխվել է նաև քամիների ինտենսիվությունը և հաճախականությունը:

Սևանա լճի ավազանում տեղումների քանակի տարեկան բաշխվածությունը համապատասխանում է նրա ռելիեֆի առանձնահատկություններին (նկ. 17, 18):

Գոգավոր տեղանքը նպաստում է, որ տեղումների ամենամեծ քանակը բաժին ընկնի ջրահավաք ավազանի լեռնալանջերին, իսկ ամենաքիչը՝ լճի հայելուն (նկ. 18, 19): Այս հանգամանքը ավազանի ռելիեֆային մեծ թեքության և լեռնատեսակների բաղադրակազմի հետ միասին նպաստում է տնտեսական գործունեության արտանետումների և թափոնների լվացմանը, ինչի հետևանքով կենսածին տարրերը հալոցքային ջրերից և մթնոլորտային տեղումներից առաջացած մակերեսային ջրահոսքով թափվում են լիճ:

Միջին հաշվով Սևանի ավազանում տարեկան տեղումների քանակը կազմում է մոտ 500 մմ: Լճի հայելու վրա անմիջականորեն թափվում է մոտ 360 մմ (նկ. 16):

Մթնոլորտային տեղումների քանակը և նրանց տեղաբաշխվածությունը (նկ. 17, 18, 19) մեծ ազդեցություն ունեն ոչ միայն լճի ջրային հաշվեկշռի, այլև ջրային և օդային ավազանների հիդրոէկոլոգիական փոխկապակցվածության վրա: Վերջինս էլ իր հերթին որոշում է դիֆուզիոն և մակերեսային հոսքերով լիճ թափվող անթրոպոգեն ծագում ունեցող նյութերի (արդյունաբերություն, հողագործություն, անասնապահություն և այլն) քանակները:

ԳԼՈՒԽ 3.
ՋՐԱՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃՈՒՄ ԸՆԹԱՑՈՂ ՖԻԶԻԿԱ-ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԵՎ ՀԻԴՐՈԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ջրահավաք ավազանը լճային համակարգի վրա հիմնականում ազդում է գետային հոսքի միջոցով (նկ. 8)։

Սևանա լիճ է թափվում 28 գետ (4-ը՝ ՄՄ), որոնց ավազանների գումարային մակերեսը կազմում է լճի ընդհանուր ջրահավաք ավազանի 76%-ը (2776 կմ^2)։

Լճի մակարդակի իջեցումից հետո ջրահավաք ավազանի մակերեսը մեծացել է աննշան չափով՝ 172 կմ^2 (5%)։

Սևան թափվող գետերի գումարային տարեկան հոսքը դեպի լիճ առանց Արփա գետի կազմում է 780 մլն մ^3 (24,7 մ^3/վրկ), իսկ Արփայի հետ՝ 1016,5 մլն մ^3 (32,2մ^3/վրկ)։

Մինչև Սևանի մակարդակի իջեցումը գետերի գումարային հոսքի մեծությունը կազմում էր լճի ջրածավալի 1,34%-ը (58,4 կմ^3-ից տարեկան 0,780 կմ^3)։ Ներկայումս, առանց Արփա գետի, այն կազմում է 2,32% (33,8 կմ^3-ից տարեկան 0,780 կմ^3)։

Այսպիսով, ստացվում է, որ բնական հոսքի հարաբերական մեծությունը, շնորհիվ լճի ջրածավալի փոքրացման, աճել է 1,77 անգամ (58,4 կմ^3-ից իջել է 33,4 կմ^3)։ Եթե սրան ավելացնենք Արփա գետի հոսքը, ստացվում է, որ ներկայումս բնական հոսքի ընդհանուր մեծությունը կազմում է լճի ծավալի 3%-ը (Արփայի հետ միասին՝ 1020 կմ^3, լճում՝ 33,8 կմ^3), ինչի պատճառով գետային հոսքի և լճի ջրածավալի հարաբերակցությունը դարձել է 2,24։ Այսպիսով, եթե մինչև լճի մակարդակի իջեցումը ջրահավաք ավազանի հարաբերական ազդեցությունը լճի վրա կազմում էր 1,77, ապա այսօր այն հասել է 2,24-ի։ Լիճ թափվող հիմնական գետերի հիդրոէկոլոգիական չափանիշները բերված են 20, 21 նկարներում։

1928-1930թթ. Սևանա լիճ թափվող գետերի հիդրոքիմիական կազմը

բնութագրվում էր համեմատաբար ցածր հանքայնությամբ (լճից զգալիորեն ցածր), ջրի հիդրոկարբոնատային տիպով, կալցիումի գերակշռությամբ, սիլիկաթթվի և ֆոսֆատների բարձր պարունակությամբ, օրգանական նյութի և հանքային ազոտի ցածր քանակներով (աղ. 11, 12, 13):

Վերջին 60 տարիների ընթացքում Սևանա լիճ թափվող գետերի ջրերի ջրաքիմիական կազմը ենթարկվել է որոշակի փոփոխությունների, սակայն դրանցից ոչ բոլորն են էական լճում ընթացող նյութերի կենսաերկրաքիմիական շրջանառության մեջ:

Կենսածին տարրերն ամենամեծ քանակներով լիճ են լցվում գարնանային և աշնանային վարարումների շրջանում (նկ. 28-30), ընդ որում ապրիլ-հուլիս ամիսներին գետերից Սևան է թափվում ազոտի և ֆոսֆորի տարեկան քանակի կեսից ավելին (նկ. 29, 30):

1929թ. համեմատ վերջին ժամանակներս զգալիորեն մեծացել է լիճ թափվող ազոտի հանքային ձևերի քանակությունը՝ 1979-1980թթ. 7 անգամ, 1982-1989թթ. Արփա գետի խառնվելուց հետո՝ 10 անգամ (229 տոննայից այն հասել է 2290 տոննայի) (նկ. 42):

Ֆոսֆորի միացությունների քանակությունները գետերում 1929թ. համեմատ փոխվել են աննշան չափով: Լիճ թափվող հանքային ֆոսֆորի քանակը 1979-1989թթ. աճել է 74-ից 100 տոննա, ընդհանուր ֆոսֆորինը՝ 133-ից 184 տոննա (նկ. 43):

Գետերով և մակերեսային ջրերով լիճ թափվող ընդհանուր ազոտի և ֆոսֆորի մեծ մասը (ազոտի 57%-ը և ֆոսֆորի 60%-ը) կազմում են նրանց հանքային միացությունները:

Հատկապես ուշագրավ է ազոտի և ֆոսֆորի հանքային ձևերի հարաբերակցության փոփոխությունը, որն ունի կենսաբանական մեծ նշանակություն: Եթե 1929թ. այն հավասար էր 3,1-ի, իսկ 1979-89թթ.՝ միջին հաշվով 16,6-ի, ապա 1982-1989թթ. նշված հարաբերակցությունը հասել է 22,9-ի:

Այսպիսով, գետերի միջոցով տարեկան Սևանա լիճ է թափվում մոտ 4000 տոննա ընդհանուր ազոտ և 180 տոննա ընդհանուր ֆոսֆոր, որոնց հանքային ձևերի քանակությունը կազմում է համապատասխանաբար 2300 և 100 տոննա (նկ. 30, աղ. 14, 15):

Հիդրոքիմիական ցուցանիշների մեծացումը, հատկապես ազոտինը և ֆոսֆորինը, ինչը ջրահավաք ավազանում տնտեսական գործունեության էքստենսիվ և ինտենսիվ զարգացման հետևանք է, հիմնովին ազդում է գետերի ջրերի որակի վրա (նկ. 26, աղ. 11):

Սևանա լճի գետերում պլանկտոնային հանրույթը (ֆիտո-, զոո-) թույլ է զարգացած կամ էլ բացակայում է՝ շնորհիվ գետային հոսքի բավականին մեծ արագության: Լավ են զարգացած միկրոօրգանիզմները, մակրոֆիտները, հատակաբնակ կենդանիները և ձկները, մեծ է գետերի ինքնամաքրման ունակություն:

Սևանա լճի ավազանի գետերի հիդրոբիոնտների տեսակային կազմի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ընդհանուր առմամբ դրանք քիչ են տարբերվում լեռնային գետերի կենդանական և բուսական աշխարհից: Ձկներից Սևանի գետերում հանդիպում են հետևյալ տեսակները՝ գետածածանը,

Սևանի իշխանը, կողակը և բեղլուն։

Ջրահավաք ավազանում գյուղատնտեսական և արդյունաբերական արտադրության ինտենսիվացման և ռեկրեացիոն ծանրաբեռնվածության մեծացման պայմաններում Սևանա լճի բնական ռեսուրսների պահպանման և արդյունավետ օգտագործման պրոբլեմների լուծումն անհնար է առանց «ջրահավաք ավազան-լիճ» համակարգում հիդրոբիոնտների քանակական և կառուցվածքաֆունկցիոնալ փոխհարաբերությունների, ինչպես նաև էվտրոֆացնող և տոքսիկ նյութերի հաշվեկշռի իմացության (նկ. 1, 31)։

Հաշվի առնելով Սևանի ավազանի յուրահատուկ ձևաչափական առանձնահատկությունները, ինչպես նաև ջրահավաք ավազանից Սևանա լիճ թափվող կենսածին և տոքսիկ էլեմենտների էկոլոգիական գնահատականի կարևորությունը՝ մեր կողմից ուսումնասիրվել է լճի էվտրոֆացման պրոցեսում ժողովրդական տնտեսության առաձին ազդեցության դերը։

Սոցիալ-տնտեսական գործունեության դերը Սևանա լճի էվտրոֆացման պրոցեսում

Սևանա լճի ջրահավաք ավազանի տարածքը (3647 կմ²) (նկ. 8, աղ. 20) զբաղեցնում է հինգ վարչատարածք՝ Սևանի (444 կմ²), Կամոյի (637 կմ²), Մարտունու (1185 կմ²), Վարդենիսի (1151 կմ²) և Կրասնոսելսկի (697 կմ²)։ Սակայն անհրաժեշտ է հաշվի առնել, որ Սևանի վարչատարածքից ավազանի տարածքի մեջ մտնում է 310 կմ² (444 կմ²-ից), իսկ Կրասնոսելսկից՝ 364 կմ² (697 կմ²-ից), ուստի հետագա հաշվարկները կատարվել են ըստ այդ տարածքների։

Սևանա լճի ավազանում ապրում է մոտ 250 հազար մարդ, ինչը կազմում է հանրապետության բնակչության 8-10%-ը։ 1975-1989թթ. քաղաքային բնակչությունն աճել է 25, իսկ գյուղական բնակչությունը՝ ընդամենը 1%-ով։

Կենցաղ և արդյունաբերություն

Սևանի ջրահավաք ավազանում տեղադրված մոտ 50 արդյունաբերական և կոմունալ-կենցաղային ձեռնարկություններից մեկ օրվա ընթացքում լիճ է թափվում մոտ 40-60 հազ. մ³ կեղտաջուր, իսկ ավազանում գործող 6 կենսաբանական և 12 նախնական մաքրման սարքերի գումարային հզորությունը մոտ 10 հազ. մ³ է, ուստի օրական առանց մաքրվելու Սևանա լիճ և նրա գետերն է թափվում մոտ 40 հազ. մ³ կեղտաջուր։

Անթրոպոգեն էվտրոֆացման տարբեր աղբյուրների նշանակության համեմատական գնահատականն իրականացվել է ըստ սնդարար նյութերի (ազոտ, ֆոսֆոր) տարածական բաշխման սխեմայի։

Հաշվարկների հիմքում ընկած են 1 կմ² վրա քնակչության խտության վիճակագրական տվյալները, որտեղ 150 մարդ/կմ² խտության դեպքում ազոտի և ֆոսֆորի տարեկան միջին քանակությունը ընդունված է 0,66 գ/մ² և 0,08 գ/մ² համապատասխանաբար։ Նշված ցուցանիշները մեծացվել են ևս 20%-ով՝ ի հաշիվ տեխնոգեն հոսքերի (քաղաքային, ճանապարհային, արդյունաբերական), ուստի վերջնական հաշվարկների համար ընդունվել են

մեկ քառակուսի մետրից ելքի հետևյալ մեծությունները՝ ազոտ - 0,8 գ, ֆոսֆոր – 0,1 գ:

Համաձայն այս հաշվարկների՝ Սևանա լճի ջրահավաք ավազանի պայմաններում մեկ տարվա ընթացքում մեկ մարդուց արտադրված ազոտի քանակը կազմում է 4,8 կգ, իսկ ֆոսֆորինը՝ 0,6 կգ: Նշված քանակները համապատասխանում են նույնատիպ երկրատարածքների համար ստացված տվյալներին, մոտ են տարբեր հեղինակների կողմից բերված ազոտի և ֆոսֆորի ելքի փոքրագույն արժեքներին և բնորոշ են Սևանա լճի ավազանի շրջաններին, որտեղ գերակշռում է գյուղական բնակչությունը:

Տվյալների հաշվարկային վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ վերջին 50 տարիների ընթացքում ավազանի բնակչությունն աճել է 1,5-2,5 անգամ (նկ. 32), ինչին համապատասխան աճել է և նշված աղբյուրներից կենսածին տարրերի մուտքը դեպի լիճ. ազոտ - 755 տոննայից (1940թ.) մինչև 1363 տոննա (1990թ.) և ֆոսֆոր - 94 տոննայից մինչև 170 տոննա՝ համապատասխանաբար (նկ. 33, 34, աղ. 21, 22):

Գյուղատնտեսություն

Գյուղատնտեսության զարգացման համալիր ծրագրի որոշիչ գործոնը գյուղատնտեսական արտադրության էքստենսիվ և ինտենսիվ զարգացումն է՝ հիմնված արտադրական պրոցեսների քիմիացման, մելիորացիայի և մեխանիզացիայի վրա:

Տվյալ դեպքում մեզ հետաքրքրում են գյուղատնտեսական բնաօգտագործման հարցերը, քանի որ Սևանա լճի ավազանում էվտրոֆացնող, աղտոտող և տոքսիկ նյութերով հարստացման հիմնական աղբյուրը գյուղատնտեսությունն է՝ բուսաբուծությունը և անասնապահությունը:

Հետազոտություններից ստացված տվյալների ընդհանրացումը թույլ է տալիս եզրակացնել, որ ազոտի և ֆոսֆորի միացությունների քանակները, որոնք ֆիլտրվում են հողից լուծված կամ կախույթային վիճակում, կարգավորվում են գլխավորապես մակերեսային կամ ներհողային ջրային հոսքերի մեծությամբ, հողի բուսածածկույթով, տեղանքի ագրոօդերևութաբանական պայմաններով և այլն: Մշակովի հողերի համար մեծ նշանակություն են ստանում նաև ագրոտեխնիկայի ձևերը, պարարտանյութերի ներդրման չափը և դրանց օգտագործման տևողությունը:

Սևանա լճի ջրահավաք ավազանին բնորոշ առանձնահատկությունները, որոնք պայմանավորում են գյուղատնտեսությունից կենսածին տարրերի համեմատաբար մեծ քանակությունների ուղղվածային հոսքը դեպի լիճ, հետևյալն են՝

- Լճի բոլոր գետերի ավազանների գումարային մակերեսը կազմում է նրա ընդհանուր ջրահավաք ավազանի 76%-ը (աղ. 20):

- Գետերի ավազանների հիմնական մասը (80-90%) գտնվում է ծովի մակերևույթից 2600 մ բարձրության վրա, որտեղ հիմնականում կենտրոնացված է Սևանի ավազանի բոլոր վարչական շրջանների ժողովրդատնտեսական գործունեությունը (նկ. 8, աղ. 19):

- Գյուղատնտեսական հանդակների 70%-ը գտնվում է ծովի մակերևույ-

թից 2000-ից 2400 մ բարձրության վրա (նկ. 8, աղ. 19):

- Ջրահավաք ավազանում լճին հարող լեռնալանջերի միջին թեքությունը կազմում է 12 աստիճան (9^0-24^0) (աղ. 19):

- Տեղումների միջին տարեկան գումարը ծովի մակերևույթից 2600 մ բարձրության վրա 450-700 մմ է (նկ. 18, 19):

- Ստորգետնյա (աղբյուրներ) և մակերեսային (անձրևներ և հալոցքներ) ջրերը գետերի ընդհանուր հոսքում կազմում են համապատասխանաբար 47 և 53% (աղ. 19):

- Լիճ թափվող գետերի արագությունը միջին հաշվով 1,0 մ/վրկ է (0,2-1,7 մ/վրկ) (աղ. 19):

- Ոռոգման օգտակար գործողության գործակիցը ցածր է և կազմում է 0,56 (0,75 մինչև հողը և 0,75՝ հողում), այսինքն՝ ջրի կորուստը կազմում է 44%:

- Ստորգետնյա ջրերի գումարային հոսքը դեպի լիճ կազմում է մոտավորապես $100x10^6$ մ^3, որից $70x10^6$ մ^3-ը լիճ է թափվում բարձր ճնշման ջրատար հորիզոնից, իսկ մնացած $30x10^6$ մ^3-ը՝ ընդերքային և առաջնային թույլ ճնշման հորիզոնից, ուր հիմնականում հողից դիֆուզվում են աղտոտող և տոքսիկ նյութերը:

- Սևանա լճի ավազանում հողերի էրոզիան, որ հողահանդակների ոչ արդյունավետ օգտագործման, հողի պաղաբեր հումուսային շերտը ոչընչացնող պրոցեսների ուժեղացման և տարբեր տեսակի պարարտանյութերի և թունաքիմիկատների կիրառման ցածր կուլտուրայի հետևանք է:

Հաշվի առնելով Սևանի ջրահավաք ավազանի վերը նշված բնորոշ մորֆոհիդրոլոգիական առանձնահատկությունները՝ մեր կողմից հաշվարկվել են մակերևութային (գետեր, միջգետավազանային տարածքներ, անձրևային և ձյան հոսքեր, ոռոգում և այլն) և ստորգետնյա (ընդերքային հոսքեր, աղբյուրներ, դիֆուզիա և այլն) ճանապարհով լիճ թափվող էվտրոֆացնող, աղտոտող և տոքսիկ նյութերի քանակները, որոնք հեշտ լուծվող նյութերի համար կազմում են 30% կամ $K_1 = 0,3$, իսկ դժվար լուծվող նյութերի համար՝ 3,0% կամ $K_2 = 0,03$:

Անասնապահություն

Սևանի ավազանում գտնվում է հանրապետության խոշոր եղջերավոր անասունների գլխաքանակի մոտ 15,4%-ը, կովերի 16,5%-ը, այծերի ու ոչխարների 20,7%-ը, խոզերի 2,0%-ը և թռչունների 8,2%-ը:

Ներկայումս խոշոր եղջերավոր անասունների (ԽԵԱ) թիվը հասնում է մոտ 135 հազարի, մանր եղջերավոր անասուններինը (ՄԵԱ)՝ 405 հազարի, իսկ թռչուններինը՝ 530 հազարի: Անասունների և թռչունների քանակը 1940թ. համեմատ աճել է 3,18 անգամ (ԽԵԱ՝ 1,26 անգամ, ՄԵԱ՝ 2,28 անգամ, թռչուններ՝ 10 անգամ) (նկ. 35):

Մեր կողմից հաշվարկվել են մակերեսային և ստորգետնյա ջրերով Սևանի ջրահավաք ավազանից լիճ թափվող ազոտի և ֆոսֆորի մաքուր քանակները, որտեղ հիմք են ընդունվել Վոլենվայդերի կողմից առաջարկված գոմաղբում և թռչնաղբում պարունակվող ազոտի և ֆոսֆորի քանակների չափանիշները, ինչպես նաև Հովհաննիսյանի կողմից Սևանի ջրահա-

վաք ավազանից լիճ թափվող կենսածին տարրերի համար հաշվարկված հոսքային գործակիցները։

Ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ գոմաղբից և թռչնաղբից Սևանա լիճ թափվող ազոտի քանակությունը 1940-85թթ. ընթացքում աճել է 1,5 անգամ (1140-1700 տ) (նկ. 36, աղ. 24, 25), իսկ ֆոսֆատինը՝ 1,62 անգամ (13-21 տ) (նկ. 37, աղ. 24, 25)։

Այսպիսով, ավազանի լանջերի մեծ թեքությունը, արոտավայրերի 3 անգամ ծանրաբեռնվածությունը և հողային էրոզիայի աճը նպաստում են լճի մոտ կենսածին տարրերի ծանրաբեռնվածության մեծացմանը։ Ուստի անասնաբուծության հետագա ինտենսիվացումը պետք է պլանավորել այնպես, որպեսզի մեկուսացվի կենսածին նյութերի օրգանական ձևերի մուտքը դեպի լիճ և նրա մեջ թափվող գետերը։

Բուսաբուծություն

Սևանի ավազանի վարչական շրջանների ընդհանուր հողատարածությունների մակերեսը 405,5 հազ. հա է, որը կազմում է հանրապետության ողջ տարածքի 13,5%-ը (աղ. 26)։ Լճի ջրահավաք ավազանի սահմաններում օգտագործվող հողատարածությունները կազմում են 360,5 հազ. հա, որոնց մակերեսը 1940-1960թթ. համեմատ մեծացել է 3,2%-ով։ Ընդհանուր հողատարածությունների 60,4%-ը (217,6 հազ. հա) մշակովի են, որոնք կազմում են հանրապետության հողահանդակների մոտ 20%-ը (աղ. 26)։

Սևանա լճի ավազանում գյուղատնտեսական հողերի 37%-ը կազմում են վարելահողերը, 1%-ը՝ բազմամյա տնկարկները, 14%-ը՝ խոտհարքները և 48%-ը՝ մարգագետիններն ու արոտավայրերը։ Այստեղ աճեցվում են տարբեր գյուղատնտեսական կուլտուրաներ, այդ թվում՝ հացահատիկային և լոբազգի բույսեր (աշորա, ցորեն, գարի, հնդկացորեն, վարսակ և այլն), կարտոֆիլ և բանջարաբոստանային, տեխնիկական (ծխախոտ), կերային կուլտուրաներ (եգիպտացորեն, արմատապտուղներ), միամյա և բազմամյա տնկիներ, որոնց համախառն բերքը տարեկան հասնում է մի քանի հարյուր հազար ցենտների։

Գյուղատնտեսության, ինչպես նաև հողահանդակների մակերեսի մեծացման հետևանքով ավազանում ավելացել է ազոտական (կարբամիդ, սելիտրա), ֆոսֆորական (սուպերֆոսֆատ), ինչպես նաև կալիումական պարարտանյութերի հանքային և օրգանական ձևերի կիրառումը (նկ. 38, 40)։

Բուսաբուծության ինտենսիվացման նպատակով օգտագործված ազոտական և ֆոսֆորական պարարտանյութերի, ըստ ազոտի և ֆոսֆորի, հաշվարկները կատարվել են հետևյալ հավասարումներով՝

$$N\ (\text{ազոտ,կգ}) = 0.3\ (0.4N_{\text{հանք.}} + 0.005N_{\text{օրգ.}}) \qquad (1)$$

և

$$P\ (\text{ֆոսֆոր,կգ}) = 0.03\ (0.2\ P_{\text{հանք.}} + 0.002P_{\text{օրգ.}}) \qquad (2)$$

որտեղ՝

0,3 և 0,03 - էվտրոֆացնող և աղտոտող նյութերի ելքի գործակիցներն են

0,4 և 0,2 - օգտագործված հանքային ազոտական և ֆոսֆորական պա-

րարտանյութերի մեջ համապատասխանաբար ազոտի և ֆոսֆորի քանակությունը որոշող գործակիցներն են
0,005 և 0,002 - օգտագործված օրգանական պարարտանյութերից հող մտած ազոտի ու ֆոսֆորի քանակության գործակիցներն են

Այսպիսով, Սևանա լճի և նույնատիպ լճերի ջրահավաք ավազանների համար առաջարկում ենք ընդունել, որ ավազանում օգտագործված հանքային պարարտանյութերից մակերևութային և ստորգետնյա հոսքերով ջրամբար է լցվում 12% ազոտ և 0,6% ֆոսֆոր, իսկ օրգանական պարարտանյութերից՝ 0,15% ազոտ և 0,006% ֆոսֆոր։

Օգտագործված հանքային և օրգանական պարարտանյութերի քանակների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ 1960-90թթ. միջև ընկած ժամանակահատվածում Սևանա լճի ավազանում տարեկան միջին հաշվով օգտագործվել են 3000-ից 29000 տոննա հանքային, 30000-ից 35000 տոննա օրգանական ազոտական և համապատասխանաբար նույնքան էլ ֆոսֆորական պարարտանյութեր, որոնց քանակների կտրուկ աճը սկսվել է 1965թ. (նկ. 38, 40, աղ. 27, 28)։

1960թ. համեմատությամբ օգտագործվող ազոտական և ֆոսֆորական պարարտանյութերի առաջին թռիչքային աճը տեղի է ունեցել 1965-67թթ.՝ 2,8 անգամ, երկրորդը՝ 1973-77թթ.՝ 7,0 անգամ և երրորդը՝ 1983-84թթ. և 1987թ.՝ 9,6 անգամ (նկ. 38, 40)։

Նշված եղանակով կատարված հաշվարկները ցույց են տալիս, որ 1960-1990թթ. ընկած ժամանակահատվածում պարարտանյութերից լիճ թափվող ազոտի և ֆոսֆորի քանակություններն աճել են մոտ 10 անգամ՝ 400-ից մինչև 4000 տ ազոտ և 35-ից մինչև 200 տ ֆոսֆոր (նկ. 38, 41)։

Անհրաժեշտ է հաշվի առնել, որ լճի ջրահավաք ավազանի ռելիեֆը (տեղանքը) խիստ կտրտված է, առանձին հողամասերի մակերեսները չեն գերազանցում 3 հա-ն, որոշ շրջաններում հասնում են 15 հա-ի։ Սա նույնպես մեծ չափով կարող է նպաստել մակերևութային և ընդերքային ջրերով կենսածին տարրերի լվացմանը։ Դա է պատճառը, որ հաշվարկային ճանապարհով մեր կողմից ստացված ազոտի և ֆոսֆորի ելքային մեծությունները ցածր են։ Իրականում դրանք ավելի բարձր են։ Բացի այդ, մեր հաշվարկներում հաշվի չեն առնված պարարտանյութերի և թունաքիմիկատների այն քանակները, որոնք օգտագործվել են սեփականատերերի կողմից։

Գյուղատնտեսական արտադրության արդյունավետության բարձրացումը հանքային և օրգանական նյութերի օգտագործման ինտենսիվացման ճանապարհով անկասկած նպաստել է Սևանա լճի էվտրոֆացման արագացմանը։ Այսպիսով, հասկանալի է, որ Սևանի ավազանում հանքային պարարտանյութերի երկարատև (1960թ. մինչև այսօր) և ոչ չափավոր օգտագործումն իր բացասական ազդեցությունն ունեցավ Սևանա լճի էկոլոգիական հավասարակշռության վրա։

Ամփոփելով հաշվարկային արդյունքները՝ պարզվում է, որ ընդհանուր առմամբ բնակչությունից, արդյունաբերությունից, անասնապահությունից և բուսաբուծությունից տարեկան միջին հաշվով լիճ է թափվել 5580 տ ազոտ

և 330 տ ֆոսֆոր (նկ. 42, 43, աղ. 29)։

Կենսաձին տարրերի ներթափանցման գործում առանձին աղբյուրների հարաբերական մեծությունը տոկոսներով արտահայտված հետևյալն է՝ բնակչությունից և արդյունաբերությունից անջատված ազոտի քանակությունը՝ 22%, անասնաբուծությունից՝ 30%, բուսաբուծությունից՝ 48%։ Համապատասխան մեծությունները ֆոսֆորի համար կազմում են 52%, 7% և 41%-(աղ. 30)։ Ցարբեր աղբյուրներից Սևանա լիճ թափված կենսաձին տարրերի հարաբերակցությունը մոտ է այլ լճերի համապատասխան հարաբերակցություններին։

Այսպիսով, ըստ հաշվարկային տվյալների, ազոտի (5580 տ) և ֆոսֆորի (330 տ) ընդհանուր քանակներից 4000 տ ազոտ և 180 տ ֆոսֆոր թափվել են լիճ գետերի միջոցով, 1100 տ ազոտ և 105 տ ֆոսֆոր՝ միջգետային մակերևութային հոսքով, իսկ 480 տ ազոտ և 45 տ ֆոսֆոր՝ ստորգետնյա ջրերով (աղ. 31)։

Ստացված տվյալների հետընթաց վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ 1940-1990թթ. ժամանակամիջոցում կենսաձին տարրերի մուտքը լիճ տեղի է ունեցել էքսպոնենցիալ կարգով։

$$1nN=(5.67\pm0.26) + (0.035\pm0.004)T;\ r=0.954;\ n=37 \quad (3)$$
$$1nP=(2.74\pm0.29) + (0.037\pm0.004)T;\ r=0.947;\ n=37 \quad (4)$$

որտեղ՝
N-ազոտի և P-ֆոսֆորի մուտքային մեծություններն են, տոննա/տարի
T-տարիներ (տարվա վերջին երկու թվերը՝ 40, 50, 51 ... 90)

3-րդ և 4-րդ հավասարումներից հետևում է, որ այդ շրջանում ջրահավաք ավազանից ազոտի և ֆոսֆորի մուտքը դեպի լիճ մեծացել է մոտ 3 անգամ։

Կենսաձին տարրերի մուտքի եռակի աճը Սևանի էկոհամակարգի վրա անթրոպոգեն ազդեցության ամենակարևոր բնութագրիչ առանձնահատկություններից մեկն է։

Մթնոլորտային տեղումներ

Մեծ լճերի ջրերը, ինչպիսին է և Սևանը, էվտրոֆացնող, աղտոտող ու տոքսիկ նյութերով հարստացնող հիմնական աղբյուրներից են մթնոլորտային տեղումները, որոնք բավականին մեծ նշանակություն ունեն լճի էկոհամակարգի կազմավորման պրոցեսում հետևյալ երկու պատճառներով՝

1. Լճի ջրային հաշվեկշռում մթնոլորտային տեղումները կազմում են մուտքի 38,5%-ը, ինչը մոտ 20%-ով է պակաս լիճ թափվող գետերի ջրերի ընդհանուր քանակից (աղ. 64)։

2. Մթնոլորտային օդը խիստ աղտոտված է հատկապես վերը նշված նյութերով, որոնք կուտակվում են Սևանի խառնարանում, Երևան-Հրազդան-Սևան հոսքերով։

Սևանի ավազանի վրա թափվող տեղումներում ընդհանուր ազոտի քա-

նակությունը միջին հաշվով կազմում է 2,4 մգ/լ, որից 1,4 մգ/լ-ը հանքային ձևերն են: Ընդհանուր ֆոսֆորի կոնցենտրացիան տարվա ընթացքում փոփոխվում է բավականին լայն սահմաններում (0,05 մգ/լ - 0,144 մգ/լ) և միջին հաշվով կազմում է 0,04 մգ/լ:

Հաշվի առնելով, որ տարվող հետազոտությունների ժամանակահատվածում տեղումների քանակը լճի վրա եղել է 500-600 մմ, տեղումների միջոցով տարեկան Սևանա լիճ է թափվել 1410 տ ազոտ և 65,4 տ ֆոսֆոր (աղ. 31), որից 815 տ ազոտը և 23,3 տ ֆոսֆորը կազմել են հանքային ձևերը:

Այսպիսով, լճի վրա տարբեր աղբյուրներից ազոտի և ֆոսֆորի ընդհանուր ծանրաբեռնվածությունը 1940թ. համեմատությամբ ներկայումս (1982-90թթ.) ավելացել է 4,2 անգամ (ազոտով 1,35-ից դարձել է 5,62 գ/մ^2 տարի, ֆոսֆորով՝ 0,076-ից՝ 0,32 գ/մ^2 տարի):

Մակերևութային և ստորգետնյա հոսքերի շնորհիվ այն համապատասխանաբար աճել է 3,3 և 3,6 անգամ (աղ. 32, 32):

Սևանա լճի աղտոտումը տոքսիկ նյութերով

Սևանա լճի ջրերի աղտոտման պրոցեսում ոչ պակաս նշանակություն ունի ավազանից տեխնոգեն ծագում ունեցող աղտոտիչ և տոքսիկ նյութերի (թունաքիմիկատներ, ծանր մետաղներ)՝ լիճ թափվող քանակությունների կտրուկ աճը:

Թունաքիմիկատներ

1977-1989թթ. ընկած ժամանակամիջոցում Սևանա լճի ավազանում օգտագործվել է մոտ 642 տ ընդհանուր քանակով (տարեկան 60-120 տ) 34 անուն պեստիցիդ (նկ. 44, աղ. 34):

Դրանցից հիմնականներն են՝ պրեպարատ N30 - 20,6%, 2-4-դ ամինային աղ - 18,5%, ցինեբ - 11%, ТМТД - 10%, պրոմետրին - 9,4%, և քլորոֆոս - 7,3%: Մնացած բոլոր թունաքիմիկատների քանակությունը կազմում է 23,2% (աղ. 38):

Հաշվի առնելով մակերեսային և ստորգետնյա հոսքերով լիճ թափվող էվտրոֆացնող, աղտոտող և տոքսիկ նյութերի քանակների գործակիցները Սևանի ավազանի համար (K_1=0,3) և թունաքիմիկատների լուծելիության գործակիցը (K_3=0,3)՝ հաշվարկել ենք լիճ թափվող թունաքիմիկատների ընդհանուր գործակիցը (K_4=0,09), որը կազմում է ազդող նյութի 9%-ը:

Ստացված արդյունքներից պարզվում է, որ ուսումնասիրված ժամանակահատվածում (1977-1986թթ.) տարեկան լիճ են թափվել 5-10 տոննա տարբեր տեսակի թունաքիմիկատներ (նկ. 44, 45):

Ծանր մետաղներ

Սևանա լճի վտակներում (աղ. 44) ծանր մետաղների պարունակությունը (Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cu, Pb, Cr, Cd) հիմնականում համապատասխանում է ձկնաբուծական նշանակություն ունեցող ջրերի սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիաներին (ՍԹԿ - 0,0007-1,0 մգ/լ):

Ծանր մետաղներով առավել աղտոտված են Գավառագետ, Վարդենիկ և Մասրիկ գետերը (նկ. 46)։ Բոլոր ուսումնասիրված մետաղների մուտքը դեպի լիճ վտակների միջոցով տարեկան միջին հաշվով կազմում է մոտավորապես 100 տոննա։

Տեղումների միջոցով տարեկան լիճ են մտնում մոտ 33 տ ծանր մետաղների աղեր (0,0-0,9 մգ/լ), իսկ Հրազդան գետով դուրս է բերվում 40-50 տոննա։

Ծանր մետաղների քանակությունը Սևանա լճում բարձր չէ (0,007-0,7 մգ/լ)։ Առավել տարածված են երկաթը և ցինկը (նկ. 47)։ Ծանր մետաղների ուղղահայաց բաշխվածությունը և նրանց կոնցենտրացիաների սեզոնային փոփոխությունները միատարր չեն (նկ. 48, աղ. 46)։

Լճի և գետերի հատակային նստվածքներում (0,02-50 մգ/կգ չոր քաշում) տեղի է ունենում նշված մետաղների կուտակում, իսկ առանձին տարրերի կուտակման գործակիցները տատանվում են 10^3-ից 10^6-ի սահմաններում (աղ. 47)։

Սևանա լճի հիդրոբիոնտներից մեծ չափով սնդիկ (3,0 մգ/կգ) և ցինկ (59,2 մգ/կգ) է կուտակվում զոոպլանկտոնում, իսկ մագնեզիում (2,8 մգ/կգ) և պղինձ (6,8 մգ/կգ չոր քաշում)՝ զոոբենթոսում (աղ. 49)։

Կախված կենդանիների տեսակից՝ տարբեր մետաղների կուտակման գործակիցները կազմել են զոոպլանտոնում 300-ից մինչև 8500, զոոբենթոսում՝ 10-5000 և ձկների մարմնում՝ 80-4000 (աղ. 51)։

ԳԼՈՒԽ 4.
ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՖԻԶԻԿԱ-ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԵՎ ՋՐԱԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ԿՐԱԾ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՋՐԻ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ԻՋԵՑՄԱՆ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ

Սևանա լիճը մինչև ջրի մակարդակի (ՌԾՄ 1916,2 մ) արհեստական իջեցումը (նկ. 49) իրենից ներկայացնում էր մի խոշոր ջրամբար, որի միջին երկարությունը 70 կմ էր, իսկ լայնությունը՝ 20 կմ (նկ. 8)։

Լճի մակարդակի իջեցման հետևանքով (ՌԾՄ 1897,4 մ) արմատապես փոխվեցին ջրամբարի ձևաչափական ցուցանիշները (աղ. 6)։

Ջրահավաք ավազանի մակերեսը մեծացավ 172 կմ²-ով (5%-ով), իսկ վերջինիս հարաբերակցությունը լճի հայելու մակերեսին հավասարվեց 3-ի։ Սևանա լճի հայելու մակերեսը փոքրացավ 12,2%-ով, միջին խորությունը՝ 34.2%-ով, մեծագույն խորությունը՝ 19%-ով, իսկ լճի ծավալը՝ 42,2%-ով (նկ. 51-54, աղ. 60, 61)։

Հիդրոէկոլոգիական տեսակետից հաստատված է, որ ջրի մակարդակի իջեցումը կատարվել է ոչ հավասարաչափ, այսինքն՝ այն իրականացվել է տարբեր արագություններով (նկ. 49, 50, աղ. 60-61), իսկ 1982թ. լճի մակարդակը կայունացել է։

Սևանա լճի էկոհամակարգի համար վճռական, բացասական նշանակություն ունեցավ ջրի մակարդակի իջեցման երրորդ փուլը (1949-1962թթ.), որի ընթացքում ջրից ազատվեց 1280 մ ափամերձ տարածություն (տարեկան 91 մ) (աղ. 62) իսկ լճի մակարդակն իջավ 13 մետրով (նկ. 49-56)։

Հիդրոլոգիական փոփոխություններ

Լճի ջրային հաշվեկշռի մուտքի (1250 մլն մ³) գլխավոր բաղադրիչներն են գետերի հոսքը (750 մլն մ³) և մթնոլորտային տեղումները (500 մլն մ³)։ Բնական պայմաններում (1932թ.) ջրային ծախսի (1300 մլն մ³) հիմնական պատճառը, ինչպես նշվեց վերևում, գոլորշիացումն էր (1150 մլն մ³), որն էլ պատճառ դարձավ ստեղծելու լճի ջրերի դարավոր պաշարների օգտա-

գործման նախագիծը:

Լճի ջրային հաշվեկշռում նույնպես պարզորոշ առանձնանում է լճի մակարդակի արհեստական իջեցման 3-րդ փուլը (1949-1962թթ.), երբ բաց թողած ջրի քանակը (2575 մլն մ^3) կրկնակի անգամ գերազանցում էր գոլորշիացմանը (նկ. 49, աղ. 64):

Բնական պայմաններում լճի մակարդակի տատանման տարեկան ամպլիտուդը կազմել է 30-60 սմ:

Ջերմաստիճանային փոփոխություններ

Սևանա լճի ջրի առանձին շերտերի միջև գոյություն ունի արտահայտված ջերմաստիճանային տարբերություն: Մինչև լճի մակարդակի իջեցումը Մեծ և Փոքր Սևաններում ջրերի տաքացումը սկսվում էր մայիսից (3,5-4,0 աստիճան) և ավարտվում օգոստոսին (18-19 աստիճան), իսկ ներկա պայմաններում սկսվում է ապրիլի վերջից (4,0-4,5 աստիճան) և ավարտվում հուլիսին (19-20 աստիճան): Տաքացման շրջանի ջերմաստիճանի բաշխման պրոցեսը տեղի է ունենում ավելի արագ (նկ. 57, 58):

Լճի մակերևութային շերտերում (էպիլիմնիոն) ջրի ջերմաստիճանը հուլիս-օգոստոս ամիսներին հաճախ հասնում է 17-20 աստիճանի, ինչի հետևանքով մեծանում է ջրի մակերևութային շերտերի ջերմաստիճանային տատանման ամպլիտուդը: Ներկայումս, լճի բնական պայմանների համեմատ, հիդրոլոգիական գարնան և ամռան ջերմաստիճանները 0,5-2,0 աստիճանով բարձր են, իսկ աշնան և ձմռան ջերմաստիճանները՝ 0,3-0,8 աստիճանով ցածր (նկ. 58):

Փոքր Սևանի հատակային շերտերում (հիպոլիմնիոն) ջրի միջին ջերմաստիճանը վերջին տարիներին կազմում է 4,2-5,0 աստիճան, իսկ Մեծ Սևանում՝ 8-12 աստիճան, մինչդեռ բնական պայմաններում (մինչև մակարդակի իջեցումը) այն հասնում էր Փոքր Սևանում մինչև 3-4 աստիճանի, իսկ Մեծ Սևանում՝ 4-5 աստիճանի (նկ. 58):

Լճի մակարդակի 18,8 մ իջեցման պայմաններում Փոքր Սևանում էպիլիմնիոնը և հիպոլիմնիոնը տեղաշարժվել են դեպի ներքև, ինչը միաժամանակ ուղեկցվել է նրանց ծավալների փոքրացմամբ (էպիլիմնիոնը՝ 15-20%-ով, հիպոլիմնիոնը՝ 50-60%-ով): Մեծ Սևանում էպիլիմնիոնի ծավալը կրճատվել է 20-25%-ով, իսկ հիպոլիմնիոնի ծավալը՝ 90-95%-ով (նկ. 59): Էպիլիմնիոնի տեղաշարժը դեպի լճահատակ իրականացավ ի հաշիվ հիպոլիմնիոնի ծավալի փոքրացման, ընդհուպ մինչև նրա լրիվ անհետացումը: Նման պայմաններում Մեծ Սևանում էպիլիմնիոնը զբաղեցրեց հատակի մակերեսի զգալի մասը՝ հաջորդաբար ակտիվ շրջապտույտի մեջ ներգրավելով հատակային օրգանական և անօրգանական նստվածքները, որոնք դարերով թաղված և մեկուսացված են եղել հիպոլիմնիոնի մշտական գոյության շնորհիվ:

Մեծ և Փոքր Սևանների միջև կատարվող ջրափոխանակությունն ունի սեզոնային բնույթ: Գարնանը երկու մասերում էլ հոսքի արագությունը մեծ չէ, իսկ ամռանը այն դառնում է ուժեղ և հաստատուն: Առավել նշանակալից արագություններ (25-30 սմ/վրկ) նկատվում են նեղուցի հյուսիսային ափի մոտ, լճի վերին 10 մետրանոց շերտում (նկ. 60):

Սևանա լճում լուսաթափանցելիության փոփոխությունները

Մեծ և Փոքր Սևաններում ջրի հարաբերական լուսաթափանցելիության միջին տարեկան մեծության դինամիկան (նկ. 61) մակարդակի իջեցման առաջին և երկրորդ փուլերում (1933-1949թթ.) առանձնակի փոփոխությունների չի ենթարկվել, իսկ երրորդ փուլի (1949-1962թթ.) ընթացքում նկատելիորեն փոքրացել է՝ Փոքր Սևանում 1,55 անգամ (13-ից 8,4 մ), իսկ Մեծ Սևանում՝ 1,8 անգամ (12,4-ից 7 մ) (նկ. 61-63): Ներկայումս (մակարդակի հարաբերական կայունացման շրջանում) 30-ական թվականների համեմատ (մինչև լճի մակարդակի իջեցումը) հարաբերական լուսաթափանցելիությունը Մեծ Սևանում փոքրացել է 3,9 (12,4-ից 3,2 մ), իսկ Փոքր Սևանում՝ 3,7 (13-ից 3,5 մ) անգամ (նկ. 61, 62):

Տվյալների վիճակագրական վերլուծությունը (Ֆիշերի չափանիշի համաձայն) ցույց է տալիս, որ Մեծ Սևանում լուսաթափանցելիության հաստատուն փոքրացում նկատվել է 1949թ., Փոքր Սևանում՝ 1955թ.: Մեծ և Փոքր Սևաններում ընդհուպ մինչև 1955թ. լուսաթափանցելիության միջին մեծությունների տարբերություն չի նկատվել: 1956թ. սկսած միջին լուսաթափանցելիությունը Փոքր Սևանում ավելի բարձր է, քան Մեծ Սևանում (նկ. 63):

Հիդրոքիմիական փոփոխություններ

Կտրուկ փոփոխություններ են տեղի ունեցել նաև Սևանա լճի հիդրոքիմիական ռեժիմում: Թթվածնային ռեժիմի վատացումը ջրի հատակային շերտերում տեղի է ունեցել համեմատաբար կարճ ժամանակամիջոցում՝ 1970-1973թթ. (նկ. 64):

Այսպիսով, լճի հատակային շերտերում անթթվածնային պայմանների զարգացումը, իր հետագա էվտրոֆացնող հետևանքներով, ինչպես նաև նյութերի նստեցման պրոցեսների արագացումը, նպաստեցին հատակային նստվածքներից կենսածին էլեմենտների դիֆուզիոն անջատմանը և լճային ջրաշերտեր ներթափանցմանը, որն արագորեն ավելացրեց ներլճային կենսածին տարրերի քանակությունները:

Նկատելիորեն փոխվեց նաև հիմնական կենսածին տարրերի ռեժիմը (նկ. 65-70): Սևանա լճի ջուրը հարստացավ հանքային ազոտի միացություններով (մոտ 5 անգամ), որոնց բարձր քանակները հայտնաբերվեցին 1979թ. (նկ. 65-66): Ըստ երևույթին հանքային ազոտի քանակական աճը տեղի էր ունեցել ավելի վաղ: Դրան մոտավորապես կարող էին նպաստել 1961թ. ազոտ ֆիքսող կապտականաչ ջրիմուռների զանգվածային զարգացումը և մակրոֆիտային գոտու ոչնչացումը:

Լճի մակարդակի իջեցման ամբողջ ընթացքում գրանցվել է հանքային ֆոսֆորի քանակության նվազում (նկ. 67-70): Ներկայումս հանքային ֆոսֆորի քանակությունը մեկ կարգով փոքր է լճի մակարդակի իջեցումից առաջ եղած քանակությունից (նկ. 67-70):

Ազոտի և ֆոսֆորի քանակների փոփոխության հակադարձ ուղղվածությունը բերեց ֆիտոպլանկտոնի կենսածին սնման օրինաչափությունների փոփոխության:

Թեպետ աբիոտիկ գործոնների մի մասը էական փոփոխություններ է կրել, սակայն ջրի քիմիական կազմի մի շարք բաղադրատարրեր, ինչպիսին են իոնների գումարը և պերմանգանատային օքսիդացումը (ՊՕ), մնացել են գրեթե անփոփոխ։

Հիդրոկենսաբանական փոփոխություններ

Լճի մակարդակի իջեցման և նրա էվտրոֆացման կարևոր հետևանքներից են նաև պրոդուցենտների (միաբջիջ ջրիմուռների և բարձրակարգ բույսերի) տեսակային կազմի և նրանց զարգացման ինտենսիվության փոփոխությունները։

Ֆիտոպլանկտոնի (ջրաշերտում լողացող միաբջիջ ջրիմուռների) առաջնային արդյունավետության կտրուկ աճը (աղ. 71), որը սովորաբար համարվում է էվտրոֆացման կարևորագույն չափանիշ, նկատվել է արդեն 70-ական թվականների սկզբներին։ 1975-78թթ. հասնելով շատ մեծ արժեքների (7000 կկալ/մ² տարի) (նկ. 78)՝ այն այնուհետև կայունացել է մի մակարդակի վրա (3000 կկալ/մ² տարի), որը 3 անգամ գերազանցում է 50-ական թվականների վերջերին գրանցված մեծությունները (աղ. 72)։ Համարժեք մեծացել է նաև ֆիտոպլանկտոնի կենսազանգվածը (աղ. 70)։ Ներկայումս այս մեծությունը տարեկան կազմում է 4000 կկալ/մ²։

Պլանկտոնային ջրիմուռների կազմը նկատելիորեն հարստացել է, ընդ որում կապտականաչ ջրիմուռներից նորից հայտնվեցին անաբենան և աֆանիզոմենոնը, դիատոմայիններից՝ ֆրագիլարիան։ Դրանք բոլորն էլ էվտրոֆացման ինդիկատոր տեսակներ են։

Լճի մակարդակի իջեցման ընթացքում (1949-1962թթ.) ի հաշիվ մակրոֆիտների տարածքային արեալի կրճատման (մոտ 90%) 30-40 անգամ կրճատվել է նրանց կենսազանգվածը։ Մակրոֆիտների ոչնչացումը էվտրոֆացումը խթանող գործոնների շղթայում այն կարևոր օղակն է, որը լճում նյութերի և էներգիայի տրանսֆորմացիայի տարեկան ցիկլում բերում է պրոդուկցիոն-դեստրուկցիոն (սինթեզի և քայքայման) պրոցեսների՝ դարերով ստեղծած հաշվեկշռի խախտման։

Սևանա լճի մակարդակի իջեցման պրոցեսում և դրանից հետո տեղի է ունեցել բակտերիոպլանկտոնի քանակական ցուցանիշների նկատելի մեծացում, միկրոօրգանիզմների քանակությունն աճել է 3 անգամ, իսկ արդյունավետությունը հավասարվել է պլանկտոնի առաջնային արդյունավետությանը։ Այս հանգամանքը վկայում է Սևանա լճի ջրերում քեմոսինթեզի ինտենսիվ պրոցեսների գոյության մասին (նկ. 71)։

Կոնսումենտների (լճի կենդանական աշխարհի) զարգացումը սերտորեն կապված է ավտոտրոֆ օղակի արդյունավետության հետ։ Ֆիտոպլանկտոնի առաջնային արդյունավետության մեծացումը ուղեկցվել է զոոպլանկտոնի և մակրոզոոբենթոսի (հատակային ցածրակարգ կենդանիների) արդյունավետության ուղղակի աճով։ Սակայն նշված երկու ենթահամակարգերում էլ արդյունավետության աճը ուղեկցվել է տեսակային և կառուցվածքային էական փոփոխություններով (նկ. 78, աղ. 80)։

Այսպես, զոոպլանկտոնի կազմում կտրուկ մեծացել է անվակիրների բաժինը: Աճել է նաև դաֆնիայի քանակությունը: Եթե սկզբնական շրջանում (1978թ.) մակրոզոոբենթոսում գերակշռում էին խիրոնոմիդները, ապա հետագայում գերակշռող դարձան սակավախոզան որդերը: Խիստ կրճատվել է կողալողերի քանակը:

Լճում ձկնարդյունաբերությունը մեծացել է գրեթե երկու անգամ, սակայն ինչպես սնման (տրոֆիկ) շղթայի առավել ցածր օղակներում, այնպես էլ այստեղ այն ուղեկցվել է ձկնային հանրույթի տեսակային վերակառուցմամբ: Լճի էկոհամակարգի ամբողջականության խախտման վրա բացասական ազդեցություն ունեցան անպատասխանատու մարդկանց կողմից լիճ բաց թողնված ծածան (կարաս) ձկնատեսակի ձկնիկները, որոնց իխտիոմասսան տարեցտարի մեծանում է:

Այսպիսով, վերը նկարագրված փոփոխությունները բնորոշ են բոլոր այն լճերին և ջրամբարներին, որոնք ենթարկվել են անթրոպոգեն էվտրոֆացման:

Սևանա լճի անթրոպոգեն էվտրոֆացման առանձնահատկությունները և հետևանքները

Սևանա լճի էվտրոֆացման մեխանիզմի բացահայտումն ունի տեսական և կիրառական մեծ նշանակություն և անհրաժեշտ է այդ պրոցեսի դանդաղեցման միջոցառումների մշակման և լճային էկոհամակարգի ղեկավարման համար:

Լճաբան մասնագետների մեծամասնության կարծիքով՝ լճերի էվտրոֆացումը պայմանավորված է նրանց ձևաչափության փոփոխմամբ կամ ջրահավաք ավազանից լիճ թափվող կենսածին տարրերի (ազոտ և հատկապես ֆոսֆոր) քանակությամբ:

Սևանա լճի էվտրոֆացումն արդյունք է ոչ միայն վերը նշված պատճառների, այլև բազմակի ուղիղ և հակառակ կապեր ունեցող ֆիզիկա-քիմիական և կենսաբանական պրոցեսների, ժամանակային և տարածական խախտումների:

Սևանա լճի մակարդակի իջեցումն ընթացել է ոչ հավասարաչափ. առավել ինտենսիվ այն ընթացել է 1949-1962թթ., երբ տարեկան միջին հաշվարկով լճի մակարդակն իջնում էր 0,93 մետրով (նկ. 49): Այս շրջանում տեղի ունեցավ մակրոֆիտների հիմնական կենսազանգվածի ոչնչացում (նկ. 75, աղ. 76-79): Մակարդակի իջեցման ընթացքում լիովին մերկացան մոտ 200 կմ² հատակային նստվածքները, փոքրացավ հիպոլիմնիոնի մակերեսի հարաբերակցությունը լճի մնացած մասի մակերեսին՝ 0,5-ից մինչև 0,3 ներկայումս (աղ. 82), ինչն ուղեկցվեց հատակից կենսածին էլեմենտների զգալի քանակների մուտքով ջրային շերտ (նկ. 75, 76, 81): Հիպոլիմնիոնի ծավալի փոքրացումը, հատակային շերտերից կենսածին էլեմենտների դիֆուզիայի մեծացումը անհապաղ պետք է բերեին հատակային շերտերում ջրի ջերմաստիճանի բարձրացմանը: Այս պրոցեսն առավել ցայտուն է արտահայտված փոքր խորություն ունեցող Մեծ Սևանում, որի մակերեսը կազմում է լճի մակերեսի 2/3-ը:

Էվտրոֆացման հետևանքով լճի «ծաղկման» զարգացումը, որը պայմանավորված էր ազոտ ֆիքսող կապտականաչ ջրիմուռների բուռն աճով, նույնպես հարստացրեց լճի ջուրն ազոտով։

«Ջուր-հատակային շերտ» համակարգում տեղ գտած փոխազդեցության խախտումներին ավելացան նաև կենսապրոդուկցիոն պրոցեսների մակարդակի փոփոխությունները՝ պլանկտոնի առաջնային արդյունավետության, զոոպլանկտոնի, ինչպես նաև կախված օրգանական նյութի քանակի մեծացումը։

Սևանա լճի էվտրոֆացման մեխանիզմում կարևոր նշանակություն ունի նաև լճի ավազանում տնտեսական գործունեության զարգացումը, որի հետևանքով սկսած 1960թ. մեծացավ ավազանի՝ լճի վրա ունեցած կենսածին ծանրաբեռնվածությունը։ Նշված բոլոր փոփոխությունները հասան առավել ինտենսիվության բավականին կարճ՝ 1950-1970թթ. ժամանակահատվածում (նկ. 75, 76, 77, աղ. 32, 33)։ Արդյունքում խախտվեց օրգանական նյութի, ինչպես նաև կենսածին տարրերի նստեցման և հատակային շերտերից նրանց անջատման միջև եղած դինամիկ հավասարակշռությունը (նկ. 82)։ Լճում ֆոսֆորի քանակի քչացումը, ազոտի անհամեմատ մեծացումը, ինչպես նաև ջրահավաք ավազանից կենսածին տարրերի մուտքի մեծացումը նպաստեցին լճում կենսապրոդուկցիոն պրոցեսների ինտենսիվությանը՝ պատճառ դառնալով նրա էվտրոֆացմանը (նկ. 77, 82)։

Լճի էվտրոֆացումն իր հերթին բերեց հատակային շերտերում թթվածնի պակասեցման, ջուրն ազոտի միացություններով հարստացման և կենսածին էլեմենտների առանձին ձևերի միջև եղած հարաբերակցության փոփոխության (նկ. 78)։

Սևանա լճի էվտրոֆացման պրոցեսը բնութագրվում է նրա տրոֆիկ շղթայի բազմակողմանի փոփոխություններով։ Լճի առաջնային արդյունավետության մեծացումը (նկ. 78) 1969-1977թթ. ընթացավ լուսաթափանցելիության էական փոքրացմանը զուգընթաց։ 1977-1980թթ. առաջնային արդյունավետության փոքրացումը բերեց լուսաթափանցելիության մեծացման, սակայն այն 1981թ. հետո նորից իջավ և այժմ համեմատաբար ավելի ցածր է, քան 1976-1980թթ. (նկ. 79ա)։

Սկսած 1977 թվականից՝ Սևանա լճում նկատվել է էվտրոֆացման պրոցեսի դարձելիության միտում, որի վկայությունն է քլորոֆիլ ա-ի քանակության փոքրացումը (նկ. 79ա, բ)։

Թվարկված փաստերը ցույց են տալիս, որ Սևանա լճի էկոհամակարգը գտնվում է ապակայուն վիճակում (նկ. 79)։ Որպես ապակայունության դրըսևորում կարող է դիտարկվել 1983-84թթ. նկատված սևանյան սիգի մասսայական ոչնչացումը, ինչը հիմնականում պայմանավորված էր ներջրամբարային պրոցեսների ապակայուն վիճակով։

Լճի ջրի որակը

Հայաստանի լարված ջրատնտեսական հաշվեկշիռը, ինչպես նաև բնակչությանը խմելու ջրով ապահովելու խնդիրը հանրապետության սոցիալ-տնտեսական զարգացման պրոցեսում առաջնահերթ է դարձնում Սևա-

նա լճի ջրային պաշարների ինտենսիվ օգտագործման հարցը, քանի որ Սևանա լիճը հանրապետության ջրամատակարարման, հատկապես խմելու և ոռոգման ջրի ամենախոշոր և միակ աղբյուրն է:

Արդեն այսօր Հայաստանի մի շարք շրջաններում, այդ թվում և Սևանի ավազանում, ջրի սուր պակաս է զգացվում: Ջուրը դառնում է հանրապետության ժողովրդական տնտեսության տարբեր ճյուղերի զարգացումը սահմանափակող գործոն: Հայաստանում մեկ բնակչին բաժին ընկնող ջրի քանակությունը տարեկան 2,7 հազ. մ^3 է, մինչդեռ նախկին Խորհրդային Միությունում տվյալ ցուցանիշը հասնում էր 17 հազ. մ^3-ի:

Սևանա լիճը միակ բնական ձկնատնտեսական ջրամբարն է: Այդ պատճառով Սևանա լճի ջրի որակը պետք է համապատասխանի ժողովրդական տնտեսության ջրօգտագործման հետևյալ ուղղությունների պահանջներին՝

ա) ջրի օգտագործումը որպես տնտեսական, խմելու (կենտրոնացված և ոչ կենտրոնացված), ինչպես նաև արդյունաբերական ջրամատակարարման աղբյուր,

բ) ջրի օգտագործումը ձկնարդյունաբերական և ռեկրեացիոն նպատակներով:

Ըստ այնպիսի ցուցանիշների, ինչպիսիք են ջրում չոր մնացորդը, քլորիդները, սուլֆատները, ջրի ընդհանուր կոշտությունը, ինչպես նաև Fe-ի, Zn-ի, Mg-ի, Cu-ի, Ca-ի, Si-ի, Co-ի, Ni-ի, Hg-ի, Cl-ի, ԴԴՏ-ի, քլորոֆոսի, կարբոֆոսի և այլ թունաքիմիկատների կոնցենտրացիաները, Սևանա լճի ջրի որակը դրա մակարդակի իջեցման պահից առ այսօր համապատասխանում է «խմելու» և «արդյունաբերական ջրօգտագործման» պահանջներին:

Ըստ ջրաքիմիական և ջրակենսաբանական ցուցանիշների՝ մինչև 1963թ., այսինքն՝ մինչև լճի մակարդակի իջեցման երրորդ փուլի վերջը, Սևանա լճի ջուրը համապատասխանում էր ջրերի որակի առաջին դասին և բնութագրվում որպես «բավականին մաքուր» ջրամբար (աղ. 84):

Լճի մակարդակի իջեցման չորրորդ շրջանում (1963-83թթ.) ավտոխտոն (ներքին) և ալլոխտոն (արտաքին) ծագում ունեցող օրգանական նյութերի քանակի մեծացման և ջրամբարի էվտրոֆացման հետևանքով լճի ջրի որակը գնալով վատացավ: Դա դրսևորվեց թթվածնի կենսաբանական օգտագործման (ԹԿՕ) ցուցանիշի, ֆիտոպլանկտոնի կենսազանգվածի և բակտերիաների քանակի մեծացմամբ: Համաձայն էկոլոգո-սանիտարական դասակարգման՝ ըստ ԹԿՕ-ի արժեքի լճի ջրի որակը տատանվում «բավարար մաքուր» և «չափավոր մաքուր» ջրերի միջև:

Այսպիսով, Սևանա լճի ինտենսիվ էվտրոֆացման շրջանում ջրի որակն ավելի վատացավ և գտնվելով երկրորդ ու երրորդ դասակարգումների միջև, ըստ Ժուկինսկու և Օկսիյուկի (1984թ.), համապատասխանում էր «բավարար մաքուր» ջրի որակավորմանը, որը խմելու ջրօգտագործման համար պահանջում էր լրացուցիչ մաքրում: Սկսած 1984թ. լճում տեղի է ունեցել ջրի որակի մասնակի բարելավում և համապատասխանելով 2-րդ կարգին՝ այն բնութագրվում է որպես «մաքուր ջուր», որը դարձյալ պահանջում է լրացուցիչ մաքրում:

Այսպիսով, մինչև լճի մակարդակի իջեցման 4-րդ փուլը (1963թ.), ըստ

ջրաֆիզիկական, քիմիական և կենսաբանական ցուցանիշների՝ Սևանա լճի ջուրը եղել է միանգամայն «մաքուր» և համապատասխանել խմելու, տնտեսական և արդյունաբերական ջրօգտագործման պահանջներին:

Հետագայում, էվտրոֆացման պրոցեսի ընթացքում, լճի և նրա գետերի աղտոտվածության հետևանքով ջրերի որակը վատացել է: Ներկայումս, լճի ջրի որակի մասնակի լավացումից հետո, այն դարձել է պիտանի տնտեսական և խմելու ջրամատակարարման համար միայն լրացուցիչ մաքրումից հետո՝ կախված ջրօգտագործման նպատակից:

Սևանա լճի ջրի որակը կարևոր նշանակություն ունի նաև ոռոգման համար, քանի որ լճից բաց թողնվող ջրի ընդհանուր քանակի 98%-ը հանրապետությունում օգտագործվում է այդ նպատակով: Հարկ է նշել նաև, որ Սևանա լճի ջրի որակի ցուցանիշները վկայում են ոռոգման համար նրա սահմանափակ պիտանելիության մասին: Համաձայն Բուդանովի (1984թ.)՝ ջուրը ոռոգման նպատակներով կարելի է օգտագործել իոնների հետևյալ հարաբերակցության դեպքում՝ $\frac{Na^+}{Ca^{2+}} \leq 1.0$:

Ոռոգման այս ցուցանիշը Սևանա լճում հավասար է 1,65-ի:

Ոռոգման համար լճի ջրի անբավարար որակը կապված է նաև նրա բարձր ֆոնային ալկալիության հետ (pH 8.6-9.2) (աղ. 6), ինչը էվտրոֆացման պատճառ ծառայող ֆիտոպլանկտոնի ֆոտոսինթեզի ինտենսիվացման հետևանքով շարունակում է աճել:

Սրանք են այն հիմնական պատճառները, որոնք բերեցին Արարատյան հարթավայրի հողերի և Սևանի ջրով ոռոգվող այլ հողատարածքների ինտենսիվ աղակալմանը, որոնց ապաաղայնացման համար այսօր պահանջվում են հսկայական միջոցներ: Այս հարցում կարևորագույն նշանակություն ունի հանրապետության այլ տարածքներում անձրևային և հալոցքային ջրերի ամբարումը ջրամբարներում, որոնց կառուցումը ինչ-ինչ պատճառներով դանդաղում է:

Ձկնարդյունաբերության չափանիշներով ներկայումս լիճը, ըստ ջրի լուսաթափանցելիության, լուծված թթվածնի, պերմանգանատային օքսիդացման մեծության, ինչպես նաև նիտրատների, ամոնիակային ազոտի, ֆոսֆատների, սուլֆատների և քլորիդների քանակության և մանրէաբանական ցուցանիշների, համապատասխանում է ջրամբարների քսենո-օլիգոսապրոբային տիպին, որը բնութագրվում է որպես «մաքուր» ջրամբար և պիտանի թառափազգի և սիգազգի ձկների ապրելու համար: Ըստ pH (8,7-9,2) և թթվածնի կենսաբանական օգտագործման (ԹԿՕ, 1,5-2,3) մեծությունների՝ Սևանա լիճը պատկանում է բետա-ալֆամեզոսապրոբային ջրամբարներին, որտեղ հնարավոր է ծածանների և լոքոների զարգացումը:

Ձկնատնտեսական նպատակներով Սևանա լճի օգտագործման հնարավորությունը հաստատվում է նաև ծանր մետաղների սահմանային թույլատրելի արժեքներով (ՍԹԱ): Բացառություն են կազմում երկաթը (ՍԹԱ - 0,05 մգ/լ, լճում՝ 0,06 մգ/լ) և պղինձը (ՍԹԱ - 0,002 մգ/լ, լճում՝ 0,03 մգ/լ), որոնց կոնցենտրացիաները 1,2-3,0 անգամ գերազանցում են ՍԹԱ-ներին: Ձկնատնտեսական ՍԹԱ-ի սահմաններում են գտնվում նաև թունաքիմիկատների քանակությունները:

Վերջին ժամանակներս էվտրոֆացման հետևանքով Սևանա լճի ջրի ռեկրեացիոն արժեքն ընկել է:

Անհրաժեշտ է հաշվի առնել, որ լճի ջրի որակի վատացումը հետևանք է ոչ միայն ներջրամբարային պրոցեսների, այլև լճի ջրերի և նրա վտակների անտնտես օգտագործման և անթրոպոգեն աղտոտման: Այս փաստը բացատրվում է նրանով, որ Սևանա լճին միշտ վերաբերվել են որպես բնության կողմից տրված անվճար բարիքի: Սևանի ջրային պաշարների արդյունավետ օգտագործման համար հարկ է առանց հետաձգելու քննարկել ջրի վարձ մտցնելու հարցը՝ ինչպես օգտագործվող ջրի, այնպես էլ կեղտահոս ջրեր լիճ կամ գետեր թափելու համար: Նման դեպքում վճարի չափը պետք է տարանջատել, ընդ որում առավել աղտոտված կեղտաջրերի համար վճարումը պետք է կատարվի ըստ աղտոտվածության աստիճանի:

Սևանա լճի բնական ռեսուրսների կառավարման գիտական հիմունքների մշակումն անհնար է առանց բնապահպան չափանիշների մշակման, ինչը պետք է հաշվի առնի ոչ միայն Սևանի պրոբլեմի էկոլոգիական տեսակետերը, այլև սոցիալ-տնտեսական զարգացման պահանջները:

Թեպետ 1980-1992թթ. էվտրոֆացման պրոցեսները դանդաղել են, ջրի որակի որոշակի բարելավում չի նկատվում: Իրոք, այնպիսի ցուցանիշներ, ինչպիսիք են ջրի լուսաթափանցելիությունը, քլորոֆիլի, ազոտի և կախված նյութերի քանակությունը և ջրի հատակային շերտերի թթվածնային ռեժիմը, մնում են էվտրոֆացման լճային բարձր արդյունավետության մակարդակի վրա: Ընդհակառակը՝ պլանկտոնի առաջնային արդյունավետությանը համընթաց նվազել է ձկների կերային բազան: Սևանա լճի բնական ռեսուրսների ճիշտ և ռացիոնալ օգտագործման չափանիշների մշակման ժամանակ պետք է հաշվի առնվեն Սևանի լիմնոհամակարգում ընթացող պրոցեսների հակադիր ուղղությունները:

Նման չափանիշների ընդունումը նշանակում է այնպիսի միջոցառումների մշակում, որոնք ուղղված կլինեն Սևանա լճի հետագա էվտրոֆացման կանխարգելմանը:

ԳԼՈՒԽ 5.
ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԷՎՏՐՈՖԱՑՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԵՎ ՄՈԴԵԼԱՅԻՆ ԿԱՆԽԱԳՈՒԾԱԿՈՒՄ

Սևանա լճի էվտրոֆացման պատճառների և առանձնահատկությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս (նկ. 82), որ նշված պրոցեսների նպատակային դանդաղեցման համար անհրաժեշտ է իրականացնել «լիճ-ջրահավաք ավազան» համակարգի վրա ներգործող այնպիսի մշակումներ, որոնք ոչ միայն կմեծացնեն լճի կայունությունը նրա ջրահավաք ավազանի նկատմամբ, այլև կսահմանափակեն հատակային շերտերից կենսածին տարրերի հոսքը դեպի լիճ:

Այս փաստարկի առավել արմատական կառավարման ձև է լճի մակարդակի արհեստական բարձրացումը: Հայտնի է, որ ջրամբարների միջին խորության մեծացմամբ փոքրանում է նրանց կենսասնուցման աստիճանը (նկ. 92):

Ակնառու է, որ այն մեխանիզմները, որոնք լճի մակարդակի իջեցման պայմաններում գործել են հետադարձ կապի դրական սկզբունքով, լճի մակարդակի բարձրացման դեպքում կարող են գործել հետադարձ կապի բացասական սկզբունքով (նկ. 79):

Իրոք, Սևանա լճի մակարդակի բարձրացումը կբերի նրա մակերեսի ու ծավալի մեծացմանը (նկ. 80), հետևաբար կմեծացնի նաև նրա կայունությունը ջրահավաք ավազանի ազդեցության նկատմամբ (Կերեկեսի ինդեքսի համաձայն) (նկ. 81): Միաժամանակ Մեծ Սևանում կվերականգնվի հիպոլիմնիոնը (նկ. 90) և կստեղծվի կայուն ջերմաստիճանային շերտավորում, ինչի հետևանքով հատակային ջրաշերտերի միջին ջերմաստիճանը կնվազի, նստվածքային շերտերից կենսածին տարրերի դիֆուզիան կսահմանափակվի, թթվածնային ռեժիմը կբարելավվի (նկ. 91):

Լճի մակարդակի բարձրացման օպտիմալ մեծության որոշումը ոչ միայն լճաբանական, այլև սոցիալ-տնտեսական կարևորագույն խնդիր է: Էկոլոգիական տեսակետից կարելի է հաշվարկել միայն մակարդակի բարձ-

րացման փոքրագույն մեծությունը, որն անհրաժեշտ է էվտրոֆացման պրոցեսները դանդաղեցնելու համար:

Հնարավոր ուղիներից մեկն էլ ֆունկցիոնալ կապերի ուսումնասիրությունն է լճի ձևաչափական ցուցանիշների և այն պարամետրերի միջև, որոնք կախված են բիոպրոդուկցիոն պրոցեսների մակարդակից:

Քլորոֆիլ a-ի բաղադրության և հատակային շերտերում թթվածնային անբավարարության (նկ. 91), էպիլիմնիոնին սահմանակից հատակային նստվածքների մակերեսի և էպիլիմնիոնի ծավալի հարաբերակցության փոփոխության (նկ. 80), ինչպես նաև լճի ձևաչափական փոփոխության հետևանքով ջերմաշերտավորման և այլ լճաբանական պարամետրերի կապի անալիզը ցույց է տալիս, որ լճի էվտրոֆացման պրոցեսը դանդաղեցնելու համար անհրաժեշտ է նրա մակարդակը բարձրացնել ամենաքիչը 6 մետրով (նկ. 80, 90, 92): Այդ դեպքում հնարավոր է սպասել լճի ջերմակայունության մեծացում, հատակային շերտերում թթվածնային վարքի լավացում, ինչպես նաև հատակային շերտերից կենսածին էլեմենտների «հատակ-ջուր» դիֆուզիայի և ջրահավաք ավազանի ազդեցության սահմանափակում:

Լճային էկոհամակարգերի կենսավիճակի էկոլոգիապես հիմնավոր կանխագուշակման վերլուծությունը համարվում է ժամանակակից լճաբանության առավել կարևոր և համեմատաբար քիչ մշակված ուղղություններից մեկը:

Ելնելով ընդհանուր լճաբանական պատկերացումներից և փորձաքննության գնահատականներից՝ կարելի է բնութագրել Սևանա լճի էկոհամակարգի հիմնական գծերը լճի մակարդակը 6 մետրով բարձրացնելուց հետո: Ընդհանուր առմամբ նման վերականգնողական վիճակը որոշ չափով միջին դիրք կզրավի ներկայիս (1982-1990թթ.) և մինչ մակարդակի իջեցումը (1932-1937թթ.) եղած վիճակների միջև. կկրճատվի թթվածնի արեալային (տարածքային) պակասը (նկ. 91), զգալի չափով կփոքրանա հիպոլիմնիոնի միավոր ծավալում թթվածնի կլանման արագությունը (նկ. 90): Կենսածին էլեմենտների ռեժիմը հիմնականում կախված կլինի լճի մակարդակի բարձրացման եղանակից (նկ. 80): Եթե իրականացվեն լիճ տեղափոխվող Արփա և Որոտան գետերի ջրերի որակն ապահովող միջոցառումներ, ապա լճում կենսածին տարրերի ռեժիմը մոտ կլինի 40-ական թվականների ռեժիմին (հանքային ձևերի համար N:P=2:7):

Լճում առաջնային արդյունավետությունը կմնա 2000-3000 կկալ/մ² տարի մակարդակի վրա, եթե պահպանվի գոյություն ունեցող կենսազանգվածի դինամիկան, այսինքն՝ մեծագույն արժեքներ գարնանը և աշնանը, փոքրագույն արժեքներ՝ ամռանը և ձմռանը:

Կոնսումենտների հանրույթի՝ զոոպլանկտոնի և զոոբենթոսի արդյունավետությունը պետք է համապատասխանի ֆիտոպլակտոնի առաջնային արդյունավետության հաստատված մակարդակին:

Իխտիոցենոզում սիգի գերակշռության պայմաններում սպասվում է լճում ձկնարդյունավետության իջեցում և իշխանի վիճակի աստիճանական լավացում:

Սևանա լճի էկոհամակարգի վերը քննարկված վիճակի ընդհանուր

գծերը հաստատվում են նաև մաթեմատիկական մոդելավորման արդյունքներով: Նման մոտեցումը թույլ է տալիս ստուգել մոդելի հիմքում ընկած դրույթները և համեմատաբար արագ բացահայտել լճում ընթացող պրոցեսների զարգացման հեռանկարային ուղղությունները և կանխագուշակումները:

Մեր կողմից կիրառված մոդելում (նկ. 83) փորձ է արվել բացահայտելու Սևանա լճի առաջնային արդյունավետության, արտաքին բիոգեն ծանրաբեռնվածության և լճի ձևաչափական փոփոխությունների կապերը արտահայտող հիդրոէկոլոգիական օրինաչափությունները: Որպես մոդելավորման օբյեկտ ընտրված է պլանկտոնի առաջնային արդյունավետությունը (նկ. 84), որի մեծությունը Սևանա լճի պայմաններում էկոլոգիական կանխագուշակման որոշիչ գործոն է:

Մոդելի օգնությամբ անց է կացվել փորձերի 3 խումբ (նկ. 85)՝

ա) Առկա ձևաչափական ցուցանիշների փոփոխությունների պայմաններում փոփոխվել են ազոտով և ֆոսֆորով լճի ծանրաբեռնվածությունները (նկ. 86):

բ) Ազոտով և ֆոսֆորով առկա ծանրաբեռնվածության պայմաններում փոփոխվել են լճի ձևաչափական ցուցանիշները (նկ. 87):

գ) Միաժամանակ փոփոխվել են լճի ինչպես ձևաչափական ցուցանիշները, այնպես էլ ազոտով և ֆոսֆորով ծանրաբեռնվածությունը (նկ. 88, 89):

Ընդհանուր առմամբ հետազոտվել է լճային էկոհամակարգի վրա ազդելու առավել կարևոր 15 եղանակ (նկ. 85): Մոդելավորման արդյունքների վերլուծությունը (նկ. 84-89) թույլ է տալիս անել հետևյալ եզրակացությունները՝

1. Քննարկված մոդելը շատ զգայուն է ֆոսֆորով արտաքին ծանրաբեռնվածության փոփոխության նկատմամբ (նկ. 85ա(a), 86): Ֆոսֆորի քանակը 50%-ով կրճատելիս առաջնային արդյունավետության մեծությունը իրական պայմանների համեմատ փոքրանում է գրեթե 2 անգամ (նկ. 86 $A_{3,4}$):

Ըստ երևույթին լճի ջրերում ֆոսֆորի կոնցենտրացիայի քչացման և լիճ թափվող ֆոսֆորի քանակության հարաբերակցության մեծացման հետևանքով աճում է էկոհամակարգի զգայունությունը ֆոսֆորի նկատմամբ: Լճի ջրում ֆոսֆորի կոնցենտրացիայի հետագա նվազումը հանգեցնում է ֆիտոպլանկտոնի զարգացման սահմանափակմանը: Այդ երևույթը նկարագրված է բազմաթիվ լճերի համար Ֆոլլենվայդերի մոդելների օգնությամբ (նկ. 77):

2. Մոդելն անտարբեր է ազոտով արտաքին ծանրաբեռնվածությունների փոփոխությունների նկատմամբ: Ազոտով ծանրաբեռնվածության քանակի 50% փոքրացման դեպքում լճային էկոհամակարգի վիճակը չի փոխվում (նկ. 85ա(a), 86 A_2):

3. Մոդելի պատասխան ռեակցիան լճի մակարդակի բարձրացման նկատմամբ էական չէ: Մոդելի համաձայն՝ լճի միայն մակարդակի բարձրացումը բերում է առաջնային արդյունավետության չնչին փոքրացման (նկ. 85բ(б), 87 A_{5-8}):

4. Մոդելը ջրահավաք ավազանի ազդեցության նկատմամբ ավելի զգա-

յուն է, քան ձևաչափական ցուցանիշների փոփոխությունների նկատմամբ (նկ. 88 A_9, A_{10})։ Անփոփոխ թողնելով ազոտով և ֆոսֆորով ծանրաբեռնվածության նախկին քանակները մինչև լճի մակարդակի իջեցումը և փոխելով լճի ձևաչափական ցուցանիշները՝ ստացվում է, որ առաջնային արդյունավետությունը մի փոքր մեծանալուց հետո կայունանում է մի այնպիսի մեծությամբ, որը գոյություն ուներ մինչև լճի մակարդակի իջեցումը։

5. Էկոհամակարգի վրա առավել ապաէվտրոֆացնող ազդեցություն է ունենում մակարդակի բարձրացման և բիոգեն ծանրաբեռնվածության նվազեցման համատեղ ներգործությունը (նկ. 85գ(в), 89 A_{11-15})։

Ստացված արդյունքները համապատասխանում են վերը ձևակերպված այն դրույթին (Оганесян и др, 1983, 1985, Оганесян 1984, 1985), որ լճի մակարդակի բարձրացումը պետք է իրականացվի լճի ջրահավաք ավազանում ջրապահման միջոցառումների հետ միաժամանակ։

ԳԼՈՒԽ 6.
ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԵՎ ՆՐԱ ՋՐԱՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԵՎ ԷԿՈՆՈՄԻԿԱԿԱՆ ՀՐԱՏԱՊ ՊՐՈԲԼԵՄՆԵՐԸ

Սևանա լճի և նրա ջրահավաք ավազանի (Սևանի լիմնոհամակարգ) բնական ռեսուրսների ռացիոնալ օգտագործման հարցում կարևորագույն բացթողում է Սևանի լիմնոհամակարգի էկոլոգիական տեսակետերը հաշվի առնող օրենսդրական միասնական տնտեսական քաղաքականության բացակայությունը, որի արդյունքը եղավ տարբեր գերատեսչությունների կողմից Սևանա լճի բնական ռեսուրսների շահադիտական օգտագործումը:

Լճային էկոհամակարգի վրա ժողովրդական տնտեսության գործունեության բացասական ազդեցությունը պակասեցնելու նպատակով անհրաժեշտ է արմատապես վերանայել Սևանա լճի և նրա ավազանի բնական ռեսուրսների շահագործման սկզբունքները, իսկ ապագայում դրանց զարգացումը խստորեն իրականացնել լճային էկոհամակարգի բնական, ֆունկցիոնալ գործունեությունն ապահովող պահանջներին համապատասխան: Հարցի նման մոտեցումը կնպաստի Սևանա լճի և նրա ավազանի ջրային, հողային, ձկնային և այլ բնական ռեսուրսների պահպանմանը, վերականգնմանը և ռացիոնալ օգտագործմանը:

Ըստ մեզ՝ **Սևանա լճի ու նրա ավազանի բնական ռեսուրսների պահպանումը, վերականգնումը և ռացիոնալ օգտագործումը անհնար է առանց Սևանա լիճը և նրա ավազանը վերակառուցելու որպես առանձին, խիստ հսկվող էկոլոգո-տնտեսական ռեգիոն, որտեղ հաշվի կառնվեն ավազանի սոցիալ-տնտեսական գործունեության բոլոր առանձնահատկությունները**: Այդ պատճառով ներկայումս անհրաժեշտ է մշակել և օրենսդրական կարգով հաստատել «Սևանա լճում և նրա ավազանում ժողովրդական տնտեսության երկարատև էկոլոգո-տնտեսական քաղաքականություն», որը կապահովի Սևանի ռեգիոնի բնական ռեսուրսների պահպանումը, վերարտադրությունը և ռացիոնալ օգտագործումը:

Հայտնի է, որ Սևանա լճի լարված էկոլոգիական վիճակը հետևանք է լճային էկոհամակարգի վրա 4 հզոր, բացասական ազդեցություն ունեցող անթրոպոգեն վերափոխումների՝

1. Լճի մակարդակի իջեցումը, որն առաջացրեց խորը հիդրոլոգիական և ձևաչափական փոփոխություններ:
2. Լճի ջրահավաք ավազանում ժողովրդական տնտեսության ինտենսիվ և էքստենսիվ զարգացումը:
3. Սևանի ջրահավաք ավազանում մթնոլորտային օդի աղտոտումը:
4. Սիգ և գետաձածան տեսակի ձկների ակլիմատիզացիան լիճ:

Առաջին երեք վերափոխումները, ճնշում գործադրելով լճային էկոհամակարգի վրա ներքևից, ազդեցին լճում ընթացող բոլոր ֆիզիկական, քիմիական և կենսաբանական առաջնային պրոցեսների և տրոֆիկ շղթայի բոլոր օղակների վրա: Իսկ չորրորդ վերափոխումը՝ լճի համար օտարատեսակ սիգ և կարաս տեսակի ձկների ակլիմատիզացիան, ճնշելով էկոհամակարգի վրա վերևից, տարբեր ժամանակահատվածներում ազդեց տրոֆիկ շղթայի առանձին օղակների միջև դարերով ստեղծված էներգետիկ փոխանցումների հավասարակշռված փոխհարաբերությունների վրա:

Հետևանքը եղավ այն, որ Սևանա լճի լիմնոհամակարգում խախտվեցին նյութերի կենսաերկրաքիմիական շրջանառության օրինաչափությունները, սինթեզի և քայքայման պրոցեսների հավասարակշռությունը, հիդրոբիոնտների կառուցվածքաֆունկցիոնալ հարաբերակցությունները և տրոֆիկ շղթայում էներգիայի հավասարակշռությունը, ինչը բերեց լճի էվտրոֆացմանը, կենսաբանական աղտոտմանը և լճի ջրի որակի էական վատթարացմանը:

Հաշվի առնելով վերը նշվածը, ինչպես նաև Սևանա լճի էկոհամակարգի և նրանում ընթացող պրոցեսների ծայրաստիճան լարված և անկայուն վիճակը, որտեղ մարդու ցանկացած սխալ միջամտություն կարող է բերել լճի էվտրոֆացման պրոցեսի անդարձելիության, մեր կարծիքով անհրաժեշտ է ստեղծել մշտական գործող մասնագիտական հեղինակավոր հանձնաժողով, որը պետք է.

1. Բազմակողմանիորեն վերանայի վերջին 20 տարիների ընթացքում Հայաստանի նախարարների խորհրդում եղած այն բոլոր որոշումները, որոնք վերաբերվում են Սևանա լճի և նրա ավազանի բնական ռեսուրսների օգտագործմանը, իսկ անհրաժեշտության դեպքում տա առաջարկություններ դրանց գործունեությունն անհապաղ դադարեցնելու վերաբերյալ:
2. Ընդհանրացնի և ամբողջացնի բոլոր էկոլոգիական, էկոնոմիկական և իրավական եզրակացությունները, որոնք պարունակում են Սևանա լճի, Արփա-Ողոտան գետերի և նրանց ջրահավաք ավազանների բնական պաշարների օգտագործման ներկայիս վիճակի վերլուծությունը:

3. Կազմակերպի, համաձայնեցնի և ուղղորդի միասնական «կոնցեպցիայի» (քաղաքականության) ձևավորումը, ինչպես նաև «Սևանա լճի և նրա ջրահավաք ավազանի բնական պաշարների պահպանման, վերականգնման, վերարտադրության և ռացիոնալ օգտագործման համալիր հեռանկարային սխեմայի» մշակումը, որը հաշվի կառնի Սևանի ռեգիոնի էկոլոգիական, էկոնոմիկական և էներգետիկ առանձնահատկություններն ու հնարավորությունները՝ ելնելով հանրապետության պահանջներից ամբողջությամբ վերցրած:

Հաշվի առնելով քննարկվող հարցադրման համաշխարհային և հայրենական փորձը՝ կարելի է առանձնացնել հետևյալ վճռական դրույթները, որոնք կիրառելի են լիմնոհամակարգի նկատմամբ.

ա) Համաձայն առաջարկվող «կոնցեպցիայի»՝

1. Սևանա լիճը Հայաստանի հանրապետության և տարածաշրջանի համար խմելու ջրի միակ հեռանկարային աղբյուրն է և իշխան տեսակի ձկան բազմացման համար համապատասխան ջրամբար, և հետևաբար Սևանա լճի ու նրա ջրահավաք ավազանի բնական ռեսուրսների (այդ թվում նաև ջրային) օգտագործումը հանրապետության ժողովրդական տնտեսության ցանկացած բնագավառում պետք է իրականացվի այնպես և այնպիսի քանակներով, որպեսզի չփոխվի լճի և նրա մեջ թափվող գետերի ջրի որակը:
2. Օրենսդրությամբ պետք է հաստատվի, որ պահպանման, վերականգնման և վերարտադրության ենթակա են հանրապետության բոլոր ջրամբարների ու գետերի և հատկապես Սևանա լճի ամբողջական էկոլոգիական համակարգերը, որոնք ապահովում են ջրի որակը որպես «խմելու ջուր», ջրային, հողային, օդային միջավայրերը, ձկնային, որսորդաարդյունագործական, անտառային, ինչպես նաև ավազանների այլ բնական ռեսուրսները:
3. Օրենսդրությամբ նորմավորել հանրապետության բոլոր ջրամբարների և գետերի, հատկապես՝ Սևանա լճի և նրա մեջ թափվող գետերի ջրերում և ջրահավաք ավազանի հողային և օդային տարածքներում էվտրոֆացնող, աղտոտող և տոքսիկ նյութերի կոնցենտրացիաները, և դիտելով Սևանա լիճը որպես խմելու ջրօգտագործման հեռանկարային աղբյուր և հաշվի առնելով լճում տեղի ունեցող դանդաղ ջրափոխանակությունը (25 տարի)՝ բացառել «խմելու ջուր» որակն ապահովող չափանիշների ցանկացած փոփոխության օրինականացում:

բ) Համաձայն առաջարկվող «Սևանա լճի և նրա ջրահավաք ավազանի բնական ռեսուրսների պահպանման, վերականգնման, վերարտադրության և ռացիոնալ օգտագործման համալիր հեռանկարային սխեմայի»՝

1. Մշակել Սևանա լճի, Կեչուտ և Սպանդարյան ջրամբարների և Արփա և Որոտան գետերի ջրահավաք ավազանների բնական ռե-

սուրսների ռացիոնալ օգտագործման չափանիշների միասնական ծրագիր, որը կզուգորդվի նշված ռեգիոնների բնապահպան և սոցիալ-տնտեսական պահանջներով:

2. Կազմել Սևանա լճի, Կեչուտ և Սպանդարյան ջրամբարների և Արփա և Որոտան գետերի ջրահավաք ավազաններում ժողովրդական տնտեսության պլանավորման և վարման հիմնավոր հեռանկարային ծրագիր՝ հիմք ընդունելով վերը նշված չափանիշները:
3. Այլընտրանքային տարբերակների համադրման հիման վրա մշակել արտադրական ուժերի զարգացման ընդհանուր քաղաքականություն և նրա սահմաններում կատարելագործել Սևանի ռեգիոնի տնտեսական զարգացումը:

Հիմնվելով լճերի էվտրոֆացման մասին եղած տեսական ընդհանրացումների վրա՝ հարկ է նշել, որ լճի «ջրի որակի» վերականգնման նպատակով անհրաժեշտ է իրականացնել մի շարք կոնկրետ և պրակտիկ միջոցառումներ օլիգոտրոֆացման պրոցեսը ղեկավարելու ուղղությամբ, ինչի համար Սևանի ավազանում[4] պետք է՝

1. Հատկացված կապիտալ ներդրումները վերաբաշխել արտադրական ձեռնարկությունների տեխնոլոգիական վերազինման և վերակառուցման համար, ինչպես նաև վերափոխել առանձին արտադրությունները՝ կիրառելով էկոլոգիապես մաքուր տեխնոլոգիաներ:
2. Փոփոխել գյուղատնտեսական արդյունաբերության տեխնոլոգիան և կառուցվածքը բուսաբուծության, ինչպես նաև անասնաբուծության բնագավառում:
3. Նորմավորել և պլանավորել տարածաշրջանում ռեկրեացիոն կոմպլեքսների զարգացումը:
4. Նշանակել կանոններ և մեթոդական ցուցումներ Սևանի էկոհամակարգերի ջրային պաշարների պահպանման համար:
5. Օրենսդրությամբ հաստատել առաջացած տոքսիկ, աղտոտող և էվտրոֆացնող նյութերի սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիաների (ՍԹԿ) և սահմանային թույլատրելի արտանետումների (ՍԹԱ) չափերը՝ ըստ էկոլոգիապես հատուկ-վտանգավոր, չափավոր-վտանգավոր և արագ քայքայվող նյութերի: Դա հնարավորություն կտա ապագայում ապահովել նշված ջրամբարների և գետերի էկոհամակարգերի կառուցվածքային և ֆունկցիոնալ նորմալ փոխհարաբերությունները:
6. Ներդնել տվյալների մշակման էկոլոգիական մոնիտորինգային ցանց (ջուր, օդ, ցամաք) տեղեկատվության մշակման և փոխանցման մեքենայացված կենտրոնով, որը մշտապես կօգնի հսկելու Սևանա լճի նշված ջրամբարների, գետերի և նրանց ջրահավաք ավազան-

[4] Սևանի ջրահավաք ավազան ասելով հասկանում ենք Սևանա լճի, Կեչուտ և Սպանդարյան ջրամբարների և Արփա և Որոտան գետերի ջրահավաք ավազանները:

ների էվտրոֆացնող, տոքսիկ և աղտոտող նյութերի կոնցենտրացիաները։

7. Ստեղծել և օրենսդրությամբ հաստատել սանիտարաջրապահպան գոտի (100-200 մետրից ոչ պակաս լայնությամբ) լճի, Սպանդարյան և Կեչուտ ջրամբարների և Արփա և Որոտան գետերի ափերի ողջ երկարությամբ։ Նշված անտառային գոտին կնպաստի ընդերքային և մակերևութային ջրերից կենսածին տարրերի, տոքսիկ և աղտոտող այլ նյութերի կենսաբանական ֆիլտրացիային (մաքրմանը) և ջրանտառային կենսաերկրացենոզներին յուրահատուկ ֆաունայի և ֆլորայի վերականգնմանը։

Միջոցառումները պետք է իրականացվեն Սևանա լճի էկոհամակարգի երկու ենթահամակարգերում՝ «ԼԻՃ» և «ՋՐԱՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆ»։ «ԼԻՃ» ենթահամակարգի ղեկավարման համար անհրաժեշտ են տասնամյակներ և մեծ ծախսեր ու ներդրումներ, իսկ «ՋՐԱՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆԻ» համար՝ մի քանի տարի և քիչ ծախսեր ու ներդրումներ։

«ԼԻՃ» ենթահամակարգ

Սևանա լճի էվտրոֆացման բիոտիկ և աբիոտիկ ֆակտորների մասին եղած 1920-1990թթ. տվյալների բազմակողմանի վերլուծության, լճի ավտոտրոֆ ենթահամակարգի մաթեմատիկական մոդելավորման և ժամանակակից լճաբանական դրույթների հիման վրա Հայաստանի ԳԱԱ հիդրոէկոլոգիայի և ձկնաբանության ինստիտուտի կողմից հաստատված է, որ Սևանա լճի էվտրոֆացման ինտենսիվությունը դանդաղեցնելու և հետագա օլիգոտրոֆացումն արագացնելու, ինչպես նաև ջրահավաք ավազանի անթրոպոգեն ազդեցությունը լճի վրա սահմանափակելու նպատակով անհրաժեշտ է նրա մակարդակը բարձրացնել ամենաքիչը 6 մետրով (1903,5 մետր բարձր ԲԾՄ)։

Լճի մակարդակի բարձրացումը կիրականացվի՝

1. Քուր գետի ջրավազանի ջրային հոսքի վերաբաշխման ճանապարհով՝ դեպի լիճ գետային հոսքի ավելացմամբ (սկսած 1981թ. լիճ է հասցվել Արփա գետի հոսքի մի մասը և ավարտվել է Որոտան գետի հունափոխումը)։
2. Փոքրացնելով լճի մակերեսային հոսքը, ոռոգման կարիքների համար հանրապետությունում կառուցելով ջրամբարների համակարգ։

Անհրաժեշտ է նշել նաև, որ լճի մակարդակի բարձրացման դրական հետևանքներին զուգընթաց հնարավոր են բացասական հետևանքներ, որոնցից են՝

1. Սևանա լիճ այլ գետերի ջրերի տեղափոխմամբ մենք փաստորեն ավելացնում ենք Սևանա լճի ջրահավաք ավազանի մակերեսը (Արփա, 270 կմ^2), ինչպես նաև տեղափոխվող Արփա և Որոտան գետե-

րի և Կեչուտ և Սպանդարյան ջրամբարների ջրահավաք ավազաններից Սևանա լիճ թափվող էվտրոֆացնող և աղտոտող նյութերի քանակները: Ուստի անհրաժեշտ է նշված գետերի և ջրամբարների ավազաններում ձեռնարկել կոնկրետ և ժամանակակից միջոցառումներ, որոնք լիովին կկանխեն անթրոպոգեն ծագում ունեցող կենսածին և թունավոր նյութերի հոսքը դեպի լիճ:

Այսպիսով, բոլոր այն միջոցառումները, որոնք նպատակաուղղված պետք է լինեն ջրահավաք ավազանից լիճ թափվող ջրի էկոլոգիական որակի բարձրացմանը, վաղօրոք պետք է իրագործվեն նշված գետերի և ջրամբարների ջրահավաք ավազաններում:

1. Զևաչափորեն փոփոխված ջրամբարների օգտագործման համաշխարհային փորձը (այսպիսին է և Սևանա լիճը) ցույց է տալիս, որ լճի մակարդակի բարձրացման բացասական հետևանքները կանխելու համար անհրաժեշտ է մինչև այդ տարածքները ջրասուզել, փայտանյութը և բուսականությունը հեռացնել, իսկ օրգանական նյութերով, ազոտով և ֆոսֆորով հարուստ հողային շերտերը ենթարկել ագրոքիմիական վերամշակման՝ այդ նյութերի քանակները հնարավորին չափ քչացնելու նպատակով:

Սևանա լճի մակարդակի բարձրացման հետևանքով զգալի տարածքներ, որոնք ծածկված են անտառներով, ջրասույզ կլինեն: Ջրասուզված անտառանյութի երկարատև քայքայումն անկասկած կդառնա լճի ջրի երկրորդական աղտոտման աղբյուր: Միաժամանակ ջրասուզված բուսականությունը խոչընդոտ կդառնա ձկնորսության համար:

Այս ամենից խուսափելու համար պետք է մշակել անտառանյութի աստիճանական հեռացման ծրագիր Սևանա լճի ավազանի ափամերձ այն տարածքների համար, որոնք լճի մակարդակի բարձրացման ժամանակ ջրասույզ կլինեն: Անտառանյութի հեռացումը պետք է կատարվի ջրի մակարդակի բարձրացումից 2-3 տարի առաջ:

«ՋՐԱՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆ» ենթահամակարգ

Սա կապված է Սևանա լճի ավազանի վարչական շրջաններում ժողովրդական տնտեսության ուղղությունների վերակառուցման անհրաժեշտության հետ:

Սևանա լճի համակարգի վրա ջրահավաք ավազանի ուժեղ անթրոպոգեն ազդեցության ներկայիս պայմաններում լճի և նրա գետերի ջրի որակի վերականգնման և պահպանման և նրանց կենսաբանական ռեսուրսների ռացիոնալ օգտագործման հետ համատեղ ծագում է ավազանի հետագա տնտեսական զարգացման խնդրի լուծումը:

Սևանա լիճը և նրա գետերը էվտրոֆացնող, տոքսիկ և աղտոտող նյութերից զերծ պահելու համար անհրաժեշտ է նրա ավազանում կոմունալ տնտեսությունում, արդյունաբերությունում և գյուղատնտեսական գործունեության բոլոր ճյուղերում իրականացնել մի շարք միջոցառումներ:

ա) Բնակչություն և կենցաղ

1. Մշակել էկոլոգո-տնտեսական տեղայնացման և ներքին տնտեսական պլանավորման ծրագիր՝ բնակչության զբաղվածության լրիվ ապահովմամբ։
2. Մշակել Սևանա լճի ջրահավաք ավազանում բնակչության արհեստական աճը սահմանափակող միջոցառումներ և ուժեղացնել հսկողությունը՝ անթրոպոգեն ծանրաբեռնվածությունն իջեցնելու նպատակով։
3. Առաջնահերթ համարել Կամո, Մարտունի և Վարդենիս քաղաքների տեղական կոյուղացումը և նշված քաղաքների ելքում ժամանակակից մաքրման համալիրների շինարարությունը՝ նախնական, կենսաբանական և քիմիական ենթահամակարգերով։

Իրականացնել մաքրման համալիրների ելքաջրերի բնական կրկնամաքրում արհեստական ջրամբարներում կամ լճակներում, որից հետո միայն այդ ջրերը թափել գետերը կամ էլ օգտագործել ավազանի ժողովրդական տնտեսության այլ ճյուղերում՝ ի հաշիվ լճից կամ գետից վերցվող ջրաքանակից։

բ) Արդյունաբերություն

1. Մշակել լիճը և նրա գետերը արդյունաբերական թափոններով աղտոտումն արգելող միջոցառումներ՝ արտադրության տեխնոլոգիայի կատարելագործման և շրջանառու ջրամատակարարման անցման ճանապարհով, իսկ անհրաժեշտության դեպքում արմատապես վերակառուցել, փակել կամ Սևանի ավազանի սահմաններից դուրս հանել արդյունաբերական և վերամշակող ձեռնարկությունները։
2. Միջոցներ ձեռք առնել Սևանի ավազանի սահմաններում առանց թույլատվության և հսկողության կատարվող բնական շինանյութերի և այլ ռեսուրսների արդյունահանման դադարեցման համար։ Անհրաժեշտ է մշակել գիտականորեն հիմնավորված աշխատանքային ծրագրեր էրոզիայի ենթարկված հողերի վերակուլտիվացիայի համար։
3. Արգելել մակերեսային ջրերի և ոռոգման ցանցի աղտոտումը արդյունաբերական, կոմունալ և անասնաբուծական տնտեսությունների հոսքային ջրերով։
4. Արգելել առանց մաքրիչ կամ ֆիլտրող կառույցների կառուցվող կամ գործող ցանկացած ձեռնարկության գործունեություն, որի արտադրական կեղտաջրերը պարունակում են մաքրման ենթակա մեխանիկական, քիմիական և այլ նյութեր։
5. Անհապաղ սկսել շրջանային և քաղաքային ձեռնարկությունների և արդյունաբերական կոմպլեքսների տեղային մաքրման կայաննե-

րի կառուցումն ու եղածների վերակառուցումը: Օրինականացնել մաքրման կայան չունեցող ցանկացած ձեռնարկության գործունեության արգելակումը, եթե դա պահանջում է տվյալ արտադրության թափոնների մեխանիկական և քիմիական կազմը:

գ) Մելիորացիա

1. Սևանա լճից ոռոգման համար ջրի բացթողումների քանակը պակասեցնելու նպատակով հանրապետությունում իրականացնել նոր և ապահովել արդեն սկսած ջրատնտեսական օբյեկտների և փոքր ջրամբարների կառուցման ու ավարտման շինարարական աշխատանքները:
2. Սևանա լճի ավազանի բոլոր (հատկապես ձվադրվող) գետերում իրականացնել ափերի և հուների ուղղում, ինժեներական և կենսաբանական ամրացում և սանիտարական մաքրում:
3. Իրականացնել ոռոգման ցանցի վերակառուցում և մշակել ոռոգման արդյունավետ մեթոդներ, որոնք կբացառեն Սևանի ավազանի հողերի էրոզիան: Հնարավորին չափ բարձրացնել ոռոգման օգտակար գործողության գործակիցը:
4. Ցանել ուսումնասիրություններ աղտոտված գրունտային ջրերի ազդեցության արեալը ի հայտ բերելու նպատակով և մշակել միջոցառումներ դրանցից ազատվելու համար:

դ) Բուսաբուծություն

1. Սևանի հողագործական համակարգի համար մշակել գյուղատնտեսական գոտիների հողագործության վարման գիտականորեն հիմնավորված ծրագիր: Վերանայել գյուղատնտեսական կուլտուրաների տեսակային կառուցվածքը և տեղաբաշխումը:
2. Ներդնել ագրոտեխնիկական ժամանակակից բնապահպան միջոցառումների համակարգ, որը կապահովի գյուղատնտեսական կուլտուրաների առատ բերք հանքային պարարտանյութերի առավել սահմանափակ օգտագործմամբ՝ հաշվի առնելով հողերում ազոտի և ֆոսֆորի քանակությունները: Հաշվի առնելով հողերում գոյություն ունեցող ազոտի և ֆոսֆորի բարձր կոնցենտրացիաները՝ նորմավորել հանքային պարարտանյութերի օգտագործումը:

Վերանայել Սևանա լճի, Գեչուտ և Սպանդարյան ջրամբարների և Արփա և Որոտան գետերի ավազաններում հանքային պարարտանյութերի օգտագործման կառուցվածքը և առաջնություն տալ պարարտանյութերի այն տեսակներին, որոնք բնութագրվում են ելքի մեծությունների և լուծելիության ամենացածր գործակիցներով:

3. Մշակել և ներդնել պարարտանյութերի օրգանական ձևերից հանքայինին անցումը՝ որպես էկոլոգիապես քիչ վնասակար:
4. Մշակել և ներդնել Սևանի ավազանում հողապաշտպան ցանքաշրջանառություններ ըստ ավազանի էկոլոգո-էկոնոմիկական շրջանների և տնտեսությունների, ավելացնել կերային կուլտուրաների (բույսերի) բաժինը՝ ի հաշիվ ակտիվ ազդեցության գոտուց կուլտուրաների դուրս բերման կամ քանակի քչացման:
5. Մշակել համալիր միջոցառումներ՝ լրիվ բացառելով հանքային պարարտանյութերի և թունաքիմիկատների օգտագործումը բնական կերային ցանքատարածությունների բարելավման և արոտավայրերի և խոտհարքների արդյունավետության բարձրացման համար: Լայնորեն ներդնել բազմամյա կուլտուրաների համակարգը, ինչպես նաև արոտավայրերի ռոտացիան:
6. Իրագործել Սևանա լճի ավազանի և Սպանդարյան և Կեչուտ ջրամբարների համակողմանի հողային, հողային-էրոզիոն և ագրոքիմիական հետազոտություններ՝ պարզելու հողի կազմի հատկությունների փոփոխությունը և անթրոպոգեն աղտոտվածության աստիճանը:
7. Էրոզիայի ենթարկված հողերում մշակել և իրականացնել բնապահպան միջոցառումներ՝ գյուղատնտեսության ռացիոնալ վարման նպատակով:
8. Մշակել և իրականացնել Սևանի ավազանում հակաէրոզիոն և հակաաղտոտիչ անտառաշերտերի ստեղծման համակարգ:
9. Մշակել և ներդնել առանց հանքային պարարտանյութերի և թունաքիմիկատների աճեցված էկոլոգիապես մաքուր գյուղատնտեսական մթերքների բարձր գների համակարգ:
10. Բոլոր տնտեսություններին (պետական և մասնավոր) ապահովել հողապաշտպան գյուղատնտեսության վարման համար անհրաժեշտ գյուղտեխնիկայով:

Հաշվի առնելով լճի էկոհամակարգի ապակայունացումը և այն փաստը, որ պեստիցիդների, ծանր մետաղների և այլ թունաքիմիկատների կուտակումը ջրում և հիդրոբիոնտներում կարող է հանգեցնել լճի ամբողջ էկոհամակարգում անդառնալի կառուցվածքային և ֆունկցիոնալ խախտումների, անհրաժեշտ է կատարել հետևյալը՝

11. Գյուղատնտեսական հողահանդակներում (2300 մ ԲԾՄԲ) ամբողջովին արգելել հնարավոր բոլոր թունաքիմիկատների և քիմիական բոլոր նյութերի կիրառումը՝ ներմուծելով կենսաբանական մեթոդներ ցանկացած «վնասատուների» դեմ:
12. Անհրաժեշտության դեպքում 2300 մ ԲԾՄԲ հողահանդակներում օգտագործել կենսաբանորեն հիմնավորված թունաքիմիկատների

նվազ քանակություններ՝ խստագույնս պահպանելով նյութերի ձևերը և ընտրությունը, ինչպես նաև կիրառման ժամանակն ու մեթոդները։

13. Մշակել հողերում և ոռոգման ջրերում թունաքիմիկատների մնացորդների վնասազերծման պաշտպանական միջոցառումներ՝ կանխելով այդ նյութերի հոսքը դեպի լիճ և նրա վտակներ։

ե) Անվտանգություն

1. Բնական կերային հանդակների և խոտհարքների արդյունավետության բարձրացման, ինչպես նաև Սևանա լիճը և նրա գետերը օրգանական ազոտից, ֆոսֆորից և այլ նյութերից մեկուսացնելու նպատակով Սևանա լճի, Կեչուտ և Սպանդարյան ջրամբարների և Արփա և Ողոտան գետերի ավազանների էկոլոգիապես վտանգավոր գոտիներում տեղադրված անասնապահական ֆերմաները տեղափոխել չեզոք գոտիներ և ստեղծել ժամանակակից բնության պահպանության պահանջներին համապատասխան գոմաղբի պահեստներ, հորեր կամ վերամշակման կայաններ։
2. Սևանի ողջ ավազանում մանր եղջերավոր անասունների գերծանրաբեռնվածության և բնական կերային հանդակների ոչ նպատակային օգտագործման հետևանքով առաջացած հողային էրոզիան կանխելու համար անցկացնել խոշոր և մանր եղջերավոր անասունների գլխաքանակի հարաբերակցության գիտականորեն հիմնավորված վերակառուցում։

զ) Զկնարդյունաբերություն

Սևանա լճում և Հայաստանի այլ ջրամբարներում ձկնային պաշարների վերականգնման, պահպանման և արդյունավետ օգտագործման համար անհրաժեշտ է իրականացնել հետևյալ ձկնաբուծամելիորատիվ միջոցառումները՝

1. Պետական և մասնավոր գյուղատնտեսական հողահանդակների ոռոգումը, ինչպես նաև ժողովրդական տնտեսության տարբեր բնագավառներում տեխնիկական ջրամատակարարումն իրականացնել անմիջապես լճից՝ խստորեն արգելելով այդ նպատակներով հիմնական ձվադրվող գետերից և նրանց աղբյուրներից ջրօգտագործումը։
2. Ձվադրվող գետերի վրա, ինչպես նաև լճում ձկների ձվադրման տեղերին մոտ բացառել հիդրոտեխնիկական կառույցների և այլ օբյեկտների հետագա կառուցումը, պլանավորումը և նախագծումը՝ բացի այն բնապահպան կառույցներից, որոնք ունեն անհրաժեշտ էկոլոգիական հիմնավորումներ։
3. Արգելել վերջին տարիներին լայնորեն կիրառվող գետերի հուների

առանձին հատվածների փոփոխումը, ինչը հանգեցնում է գետի ջրի հոսքի արագության մեծացմանը՝ հեղեղելով հիդրոբիոնտներին ու ձկնիկներին, ինչպես նաև ձկնկիթը։

4. Արգելել ֆաունայի և ֆլորայի նոր տեսակների ոչ մտածված և պատահական ներմուծումը Սևանա լիճ և Հայաստանի այլ ջրամբարներ՝ խիստ հսկողություն ապահովելով այն ձկնապահական կազմակերպությունների և համապատասխան տեսչությունների կողմից, որոնց հսկողության տակ են գտնվում տվյալ ջրամբարները։
5. Սևանա լճի հիդրոբիոնտների տրոֆիկ փոխհարաբերությունների էկոլոգիական հավասարակշռության վերականգնման և պահպանման համար անհապաղ ընդունել բացառիկ միջոցառումներ Սևանա լճի ձկնային պաշարների պահպանման համար, քանի որ «օրինականացված» ձկնագողությունը կարող է էկոլոգիական անուղղելի վնաս հասցնել ոչ միայն ձկնային տնտեսությանը, այլև լճի ամբողջ էկոհամակարգին։
6. Ձկան որսի բոլոր տեսակները (արդյունահանում, սիրողական և ուրիշ), ինչպես նաև Սևանա լիճ և Հայաստանի այլ ջրամբարներ ձկների վերաբնակեցման հետ կապված հարցերն իրականացնել միայն գիտակիրառական երաշխավորագրերի հիման վրա։
7. Հանրապետությունում ստեղծել ժամանակակից գիտատեխնիկական բազա ձկնարդյունաբերությունը (ձկնաբուծություն և ձկնորսություն) ղեկավարելու համար՝ ներգրավելով արտասահմանյան գիտատեխնիկական պոտենցիալը (ձկնաբուծական և կերային գործարաններ, գիտական սարքավորումներ, մասնագիտական փորձի փոխանակում և այլն)։

ՎԵՐՋԱԲԱՆ

Հայաստանի Հանրապետությունը որպես աշխարհագրական տարածաշրջան այսօր գտնվում է բարդ, ոչ հավասարակշռված էկոլոգիական վիճակում, ինչը բնության և նրա պաշարների նկատմամբ չմտածված քաղաքականության օրինաչափ հետևանք է:

Վերջին 50-60 տարիների ընթացքում էներգետիկայի և էկոնոմիկայի զարգացման համար կիրառվել են այնպիսի ինժեներատեխնիկական մշակումներ, որոնք հնարավորություն են տվել նվազագույն ծախսերով առավելագույնս օգտագործել բնական ռեսուրսները՝ բացարձակապես արհամարհելով դրանից բխող էկոլոգիական հետևանքները:

Օրինաչափ է, որ վերոհիշյալ մոտեցման պատճառով այդպիսի էկոլոգիական խիստ վերափոխման ենթարկվեց Սևանա լճի էկոհամակարգը:

Մինչև այժմ բնապահպան և սոցիալ-տնտեսական խնդիրները դիտարկվել են միմյանցից անկախ՝ չգնահատելով բնությանը և նրա պաշարներին հասցված վնասներն ու դրանցից ստացված տնտեսական օգուտը:

Այսպիսով, միայն Սևանա լճի օրինակով կարելի է ասել, որ մինչև այժմ չեն գնահատվել Սևանա լճի մակարդակի իջեցման, նրա էվտրոֆացման (օրգանական նյութերի կուտակում) և աղտոտման, հանրապետության այլ տարածաշրջաններից գետերի վերաբաշխման, ինչպես նաև Արարատյան հարթավայրի հողերի աղայնացման սոցիալ-տնտեսական հետևանքները:

Այսօր առաջնահերթ խնդիր է, կասեի՝ հիմնահարց, էկոլոգո-տնտեսական համալիր մոտեցման մշակումը՝ գտնելու համար «ոսկե միջինը» բնական պաշարների զրոյական օգտագործման (օր.՝ արգելոցներ) և շրջակա միջավայրի որակի չփոխհատուցվող վատացմանը տանող շահագործման միջև:

Կարծում եմ, որ բնական պաշարների միայն այդպիսի օգտագործումը կլինի և՛ բնական, և՛ ռացիոնալ:

Այսպիսով, ժողովրդական տնտեսությունների պրոբլեմների չմտածված, գիտականորեն չհիմնավորված լուծումները, որոնք ամբողջությամբ կամ մասնակիորեն կապված են բնական պաշարների օգտագործման հետ և հաշվի չեն առնում նրա էկոլոգիական հետևանքները, հետագայում անպայման բերում են ժողովրդական տնտեսության և էկոլոգիական դժվար լուծվող նոր պրոբլեմների և շրջակա միջավայրի անխուսափելի վատացման:

Վերը նշվածը կարելի է կոնկրետացնել հետևյալ երկու օրինաչափությունների միջոցով.

1. Հասարակության զարգացումը միայն էներգետիկ և էկոնոմիկական չափանիշներով անկասկած բերում է էկոլոգիական ճգնաժամի:
2. Հասարակության զարգացումը միայն էկոլոգիական չափանիշներով անպայման կտանի էներգետիկ և էկոնոմիկական ճգնաժամի:

Դժբախտաբար երկու օրինաչափություններն էլ վառ արտահայտված են մեր հանրապետությունում:

Հայաստանը մինչև 1989թ. առաջին օրինաչափության օրինակ է, քանի որ հանրապետությունում սոցիալ-տնտեսական զարգացումն ապահովող բոլոր միջոցառումների՝ քիմիական ու արդյունաբերական համալիրների, ՋԷԿ-երի և այլ արտադրական օբյեկտների նախագծման, շինարարության և շահագործման ընթացքում, ինչպես նաև հանքերի արդյունահանման ու վերամշակման ընթացքում հաշվի էր առնվում միայն նրանց տնտեսական օգուտը, իսկ տվյալ շրջանի աշխարհագրական առանձնահատկություններն ու կլիմայական պայմանները ծառայում էին միայն տվյալ համալիրին բնորոշ տեխնիկական լուծումներին: Հաշվի չեն առնվել հոսքային ջրերը և նրանց տարածման շրջանները, ինչպես նաև վնասակար արտանետումների յուրացման հնարավորությունը, հողային էրոզիան և այլն: Նմանատիպ վերաբերմունք արտահայտվել է ոչ միայն արդյունաբերության, էներգետիկայի և գյուղատնտեսության մեջ, այլև ուրիշ բնագավառներում:

Այսպես, օրինակ, Սևանա լճի ջրային պաշարների օգտագործման անհրաժեշտությունը հանրապետությունում էներգետիկայի և էկոնոմիկայի զարգացման համար արդացվել և մասնակիորեն իրականացվել է, բայց Սևանա լճի բնական պաշարների օգտագործման՝ օրենսդրությամբ հաստատված չափանիշների բացակայությունը բերեց հենց լճի խնդրի առաջացմանը (իմ կարծիքով՝ օրենքի համար հիմք կարող են ծառայել «Համաձայն առաջարկվող «կոնցեպցիայի» վերնագրի ներքո առաջ քաշված ձևակերպումները (կետ 1, 2, 3)):

Մեկ այլ օրինակ՝ ՀԳԱԱ հիդրոէկոլոգիայի և ձկնաբանության ինստիտուտի հիդրոէկոլոգների հետ առանց որևէ խորհրդակցության անմշակ և չմտածված «նախագծի» հիման վրա սկսվում է մեծածավալ շինության՝ օղակավոր կոյուղային կոլեկտորի շինարարությունը Սևանա լճի շուրջը (մոտ 250 կմ երկարությամբ, 1988թ. գներով՝ 300 մլն ռուբ. արժողությամբ)՝ առանց քաղաքների, գյուղերի և հեղեղային ջրատարների կոյուղացման, փորվում են հսկայական հողային տարածություններ կոլեկտորի ճանապարհին, որը կարող է դուրս բերել ջրահավաք ավազանի աղտոտող և տոքսիկ նյութերի միայն 10%-ը: Հիմնական վտանգը, ինչպես նշվեց վերը, համարվում են ոչ թե կոյուղաջրերը, այլ գյուղատնտեսությունն ամբողջությամբ (կենդանական արտադրանք, թունաքիմիկատներ, հողերի մասսայական էրոզիա, պարարտանյութեր, ձկների անկառավարելի որս և այլն):

Հայաստանում անկախության հռչակումից հետո (1989թ.-ից) մենք անցանք երկրորդ ուղուն, որը կարելի է համարել ավելի անընդունելի (2-րդ օրինաչափությունը):

«Էկոլոգները» (կանաչները, տարբեր հասարակական և պաշտոնական կազմակերպությունների ներկայացուցիչները) պահանջեցին հայկական ատոմակայանի, «Նաիրիտ» գիտաարտադրական միավորման, Ալավերդու լեռնամետալուրգիական համալիրի, Կիրովականի քիմիական կոմբինատի, Հրազդանի էներգո-արդյունաբերական համալիրի և այլնի անհապաղ փակումը, որպեսզի «գիտականորեն հիմնավորված» պատճառաբանու-

թյուններով հանրապետությունում լավացնեն էկոլոգիական վիճակը։

Եվ ինչի՞ բերեց այս ամենը։

Հանրապետությունում ծայրահեղորեն սրվեցին էկոնոմիկական և էկոլոգիական հարցերը՝ բացասական հետևանքներով (ծառերի մասսայական հատում, սանիտարական աններելի վիճակ, Սևանի էկոհամակարգի կըրկնակի ապակայունացում ջրբացթողումների ավելացման հետևանքով)։

Հաշվի առնելով վերոհիշյալ օրինաչափությունները, ինչպես նաև Հայաստանում էկոլոգիական վիճակի բարելավման խնդիրը, անհրաժեշտ է առաջնորդվել գիտականորեն հիմնավորված և վերամշակված, հետևողական բնապահպան վերափոխումների և ոչ թե ոչ մասնագիտական մակերեսային որոշումների ճանապարհով։ Անհրաժեշտ է հիշել, որ ցանկացած էկոլոգիական հարցի ոչ իրավասու լուծումը, առավել ևս տարրական տրամաբանությանը հակասող լուծումները, եթե ոչ այսօր, ապա ամենամոտ ապագայում ավելի կխորացնեն հանրապետությունում առանց այն էլ ծայրահեղ լարված էներգետիկական, էկոլոգիական և էկոնոմիկական իրավիճակը։

Ահա թե ինչը չգիտեին և չէին հասկանում մեր «քնապահպանները», ինչը և պատճառ դարձավ հանրապետությունում նոր, տարբեր և դժվար լուծվող բազմաթիվ էկոլոգիական, էկոնոմիկական և էներգետիկական խնդիրների առաջացման համար։

Ամփոփելով ասվածը, ինչպես նաև հաշվի առնելով վերը հիշատակված երկու օրինաչափությունները՝ կարելի է ձևակերպել «Երեք է» -ի օրենքը։

Էներգետիկան, էկոնոմիկան և էկոլոգիան այն երեք հիմնաքարերն են, որոնց զարգացման ճիշտ փոխհարաբերությունների կառուցվում է ուզած քաղաքակիրթ պետության սոցիալ-տնտեսական ներդաշնակ զարգացման բարձրագույն մակարդակը, որը հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ այդ երեք ոլորտների միջև ստեղծվում են մարդու կողմից ղեկավարվող, փոխկարգավորող (ուղիղ և հակառակ) կապեր։

Ժամանակակից պայմաններում, նոր արտադրական և գյուղատնտեսական շրջանների, բազմահազարանոց բնակավայրերի ստեղծման (առաջացման) հետևանքով, հանրապետությունում տեղի են ունեցել բնական տեղանքների և աշխարհագրական գոտիների անթրոպոգեն վերափոխումներ։ Նման պայմաններում ծագում են մեծ թվով սոցիալ-տնտեսական սուր խնդիրներ կապված ժողովրդական տնտեսության զարգացման լավագույն ուղիղների հայտնաբերման և ապաճած էկոհամակարգի վերականգնման հետ՝ շրջապատող բնական միջավայրի նվազագույն աղտոտմամբ։

Վերոհիշյալ խնդիրների լուծման ճանապարհին «Երեք է»-ի օրենքի յուրացումն անհրաժեշտ է ոչ միայն ղեկավար աշխատողների ու ժողովրդական տնտեսության տարբեր ճյուղերում աշխատող մասնագետների լայն շրջանների, այլ նաև այն էկոլոգների՝ կենսաբանների, երկրաբանների, քիմիկոսների համար, որոնց վերաբերմունքը հստակ է կուսական բնության նկատմամբ, և ովքեր մոռանում են, որ մարդկության զարգացման համար բացի էկոլոգիական «մաքրությունից» անհրաժեշտ է էներգետիկայի և էկո-

նոմիկայի առաջընթաց։

Այդ պատճառով էլ ճշգրիտ գիտականորեն հիմնավորված գնահատականը և էկոլոգիական վիճակի կանխագուշակումը պահանջում է էկոլոգիական և էկոլոգո-սոցիալական համալիր ուսումնասիրությունների ուժեղացում, որոնք համակողմանիորեն հաշվի կառնեն ուսումնասիրվող բնական տարածաշրջանի յուրահատկությունները։

«Երեք է»-ի օրենքը և քաղաքականությունը

Ցանկացած պետություն, որպես առանձին ինքնուրույն սոցիալ-տնտեսական և վարչական շրջան, էկոլոգիական տեսակետից կազմում է ամբողջական էկոլոգիական տարածաշրջանի մի մասը, որի մեջ կարող են մտնել տասնյակ պետություններ՝ սոցիալ-տնտեսական զարգացման տարբեր մակարդակներով և տարբեր քաղաքական կառուցվածքով։ Այսպես, օրինակ, Հայաստանի պետական տարածությունների մի մասը և Վրաստանի ու Ադրբեջանի պետական որոշ տարածություններ մտնում են միասնական էկոլոգիական տարածաշրջանի մեջ՝ Քուռ գետի ջրահավաք ավազանով, իսկ մյուսը՝ Թուրքիայի, Իրանի և Ադրբեջանի հետ միասին, Արաքս գետի ջրահավաք ավազանով մտնում է այլ էկոլոգիական համակարգի մեջ։

Այստեղից պարզ է, որ նման պայմաններում էկոլոգիական և բնապահպան խախտումները տվյալ էկոլոգիական տարածաշրջանի մեջ մտնող ցանկացած պետությունում, անկախ նրանց փոխհարաբերություններից, հարևան պետությունների տարածքում առաջացնում են բացասական հետևանքներ։ Այդ պատճառով էլ «էկոլոգիապես ճգնաժամային» պետությունը, անկախ իր տնտեսական հնարավորություններից, վաղ թե ուշ պարտավոր է կենտրոնացնել բոլոր կարողությունները և բարելավել իր վարչական տարածքի էկոլոգիական վիճակը։ Հակառակ դեպքում նա ստիպված կլինի այդ անել հարևան պետությունների տնտեսական և քաղաքական ճնշման տակ։

Այդ պատճառով զարգացած պետություններում ցանկացած էներգետիկ և էկոնոմիկական խնդիրների լուծման ընթացքում առաջին հերթին հաշվի են առնվում տվյալ տարածաշրջանի էկոլոգիական օրինաչափությունները։

Հանրապետությունում էկոլոգիայի և նրան հարակից այլ գիտություններ վերլուծությունը ցավոք ցույց է տալիս, որ նշված ուղղություններով հիմնարար և կիրառական գիտական ուսումնասիրությունները հիմնականում թույլ են զարգացած, ցրված են և տարանպատակ, ինչի պատճառով գոյություն ունի խորը անհամատեղելիություն մի կողմից հասարակության և բնական միջավայրի փոխհարաբերություններում առկա խնդիրների, իսկ մյուս կողմից՝ այդ խնդիրները լուծելու հիմնարար և կիրառական ուղղությունների միջև։

Հաշվի առնելով վերը նշվածը՝ ժամանակն է, որ Հայաստանի ԳԱԱ բարձրագույն կրթության և գիտության ու լուսավորության նախարարությունները ուշադրություն դարձնեն էկոլոգիայի զարգացմանը, ինչպես նաև մշակեն և ընդունեն համապատասխան միջոցառումներ՝ խթանելու համար հանրապետությունում էկոլոգիական ուղղությունների նկատելի դանդաղ

աճը՝ հաշվի առնելով հասարակության պրակտիկ գործունեությունն ու կենսապայմանները:

Այսպիսով, էկոլոգիական քաղաքականությունը ցանկացած քաղաքակիրթ երկրում համարվում է ընդհանուր քաղաքականության կարևոր ուղղություններից մեկը, ինչպես նաև այն հիմնական ճանապարհներից մեկը, որն ապահովում է ներպետական և միջպետական քաղաքական, տնտեսական, էկոլոգիական, սոցիալական և մշակութային շահավետ փոխհարաբերություններ:

Այդ իսկ պատճառով, ինչպես շատ քաղաքակիրթ երկրներում, ճիշտ կլիներ նախագահական համակարգում ստեղծել հատուկ էկոլոգիական հանձնաժողով՝ ներգրավելով բարձրորակ մասնագետ էկոլոգների, էկոլոգ-էկոնոմիստների, էներգետիկների, սոցիոլոգների, ինչպես նաև այլ ճյուղերի հարուստ փորձ ունեցող մասնագետների, որը կկոորդինացներ և կուղղորդեր էկոլոգիական հիմնարար և կիրառական ուղղությունները և կհսկեր հանրապետությունում էկոլոգիական և բնապահապան իրավիճակը և ձեռնարկվող միջոցառումները: Հանձնաժողովը բոլոր էկոլոգիական և բնապահպան խնդիրներով կդառնա կառավարության խորհրդատուն՝ ապահովելով գիտականորեն հիմնավորված փորձաքննություն:

Իմ կարծիքով՝ Հայաստանում էկոլոգիական քաղաքանության վերը նշված վերափոխումները կարող են նպաստել մեր հասարակության երկարատև համաչափ զարգացմանը, նրա կենսապայմանների բարելավմանը և Հայաստանի ինքնատիպ բնության պահպանմանը:

***

Հետգրություն. Գրքի լույս ընծայումը նախատեսվում էր 1989թ., սակայն մեզնից անկախ պատճառներով այն տպագրվում է 1994թ.: Այդ ժամանակաընթացքում Սևանա լճի ապաէվտրոֆացումն ապահովող որևէ միջոցառում չի իրականացվել, ավելին՝ լճի մակարդակը դարձյալ իջեցվեց 1,9 մ-ով, անօրինակ չափերի հասավ ձկնագողությունը, ինչի արդյունքում կրկին մեծացավ լճի առաջնային պրոդուկցիան՝ մինչև 5000 կկալ/մ² տարում, խզվեց լճի ձկնային համակարգի վերարտադրությունը և որպես հետևանք նորից խախտվեց լիճը օլիգոտրոֆացնող բոլոր պրոցեսների հավասարակշռությունը:

Ցավոք ապարդյուն անցան վերին ատյաններին ուղղված մեր բոլոր դիմումները:

Կարծում ենք, որ Հայաստանի «մարգարտի»՝ Սևանա լճի նկատմամբ ունեցած նման անպատասխանատու վերաբերմունքը արդարացնում է «Սևանը երեկ, այսօր ...» մենագրության անվանումը:

Armenian National Academy of Sciences
Institute of Hydroecology and Ichthyology

Scientific Information Center of Social Sciences
R. H. HOVHANNISSIAN

LAKE SEVAN YESTERDAY, TODAY...

Editor in Chief: Doctor of Science
O. P. Oksiyuk

YEREVAN 1994

CHAPTER 1.
HISTORY OF THE PROBLEM OF LAKE SEVAN

Armenia has limited water resources. Before its water level lowering Lake Sevan had always attracted researchers' attention due to its Alpine location (1916.2 m above sea level), large volume of water (58.5 $km^{3)}$ and valuable species of endemic fish.

Consequently, special attention was paid to the problem of effective utilization of the Lake's water and fish resources, the theoretical basis of which began to be worked out in the previous century. According to approximate calculations of Serian (1910) and Eghiazarov (1923), the main reason of Lake Sevan's expenditure was its evaporation - 1150 mil m^3 annually - which constituted 85-90% of the total inflowing water.

A project of utilization of the lake's water resources was worked out according to which it was planned to utilize the water resources of the lake taking 1025 mil m^3 water from it annually: 650 mil m^3 for energetics and 375 mil m^3 for irrigation needs.

Works on lowering of Lake Sevan's level began in 1933, which was later characterized as the first phase of Lake Sevan problem.

At the end of the 1950s it became clear that the plan of the lake's level lowering by 50 m was not only erroneous but also demanded some radical corrections:

1. Utilization of new lands for agricultural needs did not succeed, because oxidation processes prevailed in soil formation.

2. It also turned out that the electricity received from the waters of Sevan was not sufficient for further development of economics and putting into operation the newly built thermoelectric and nuclear power stations would have enabled to reduce the utilization of Sevan's waters.

3. Calculations showed that at the end of the century the social and economic conditions will limit the resources of drinking water in the Republic while Lake Sevan is the only source of water in Armenia.

Taking into consideration the aforesaid as well as the threat of partial destruction of such a unique lake, the previous project of the lake's water utilization was revised, and it was decided to keep the level of Sevan near the natural level. At that time (1959) the lake's level had lowered by 13.7 m.

The second phase of Sevan problem started in the 1960s. A new idea appeared, that is, to exploit the Sevan-Hrazdan cascade with its full capacity, transferring waters of other reservoirs and rivers of this region to Sevan. Proceeding from the aforesaid it was decided to transfer the waters of Arpa River (250 mil m^3) to the lake by a 48-km long underground water canal.

Taking into account the time necessary for construction of Arpa-Sevan canal and of other water-economic units in various regions of the country, it was decided in 1962 to stop the further lowering of the lake's level and keep it at 1898 m above sea level (the decrease was already 18 m).

Nevertheless, water level lowering continued and in 1980 it reached 18.8 m, as a result of which the lake's area reduced by 12.2% and its volume - by 42.2%.

Unfortunately, neither in the process of elaboration of the project of Lake Sevan's water utilization nor during its realization was the influence of the change of the lake's morphometrics on the quality[1] of water and fish production seriously considered.

With the process of water level lowering, serious changes took place in the lake's catchment basin, where the population increased several times, mainly in the cities. The economics developed extensively and intensively in such spheres as industry, construction, transport, agriculture, etc.

As a result of inefficient utilization of mineral and organic fertilizers and chemical pesticides, the volume of biogenic substances, salts of heavy metals and chemical pesticides considerably increased in the inflowing waters.

The first indications of eutrophication in Lake Sevan were observed in 1964, which was expressed by a rapid growth of blue-green algae and was described as lake's water "blooming." Later this process went deeper, an oligotrophic-eutrophic succession took place, which in the lake's ecosystem is usually accompanied by destabilization of metabolic processes leading to deterioration of water quality.

If during the early stages of the formation of Sevan's problem the question of utilization of the lake's water resources prevailed, now the rehabilitation and effective utilization of water and fish resources of Lake Sevan is a problem of first importance.

The third phase of Sevan's problem is characterized both by utilization of its natural resources and by their protection and rehabilitation.

The facts and all considerations are adduced for the oligotrophic (before lowering of the lake's level) and high productional periods (1933 - 1985) of Lake Sevan eutrophication. Periods of eutrophication and repeated lowering of its level (1985 - 1995) are not considered.

---

[1] The concept "water quality" is an ecotoxicological criterion which characterizes the physical, chemical, and biological features of water, qualifying it as water used for drinking, economic, or other purposes.

CHAPTER 2.
PHYSICO-GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF THE CATCHMENT BASIN OF LAKE SEVAN

The catchment basin of Lake Sevan (4891 km^2) belongs to the basin of Araks River (Fig. 2, 3, 4). This is a large tectonic depression surrounded by mountains in the north-west of which the watershed of the basin lowers down to the lake's level. From here starts the only river which flows out of the lake: Hrazdan River. The total length of the watershed line is nearly 400 km (Fig. 3).

Lake Sevan and its basin were formed 25-30 thousand years ago (Fig. 5, 7). The Lake has two parts: Minor Sevan (MS) and Major Sevan (MjS), differing in age and origin (Fig. 8).

Compared with plain reservoirs, the total sunbeam on the surface of the lake is rather high (MS - 150 kcal/cm^2 year, MjS - 158 kcal/cm^2 year). During the last years the intensity of sunbeam has decreased[2] a little (Fig. 13).

The highest average monthly air temperature is recorded in August (14-17°) and the lowest - in January (8-4°). The average annual temperature fluctuates from 3° to 6° (Fig. 14). Relative humidity fluctuates from 60 to 80% per month (Fig. 15).

In Sevan basin winds are very frequent and in different parts of the lake they have different directions. In summer the wind speed reaches 1.5-3.0 m/sec, in winter – 3.0-5.0 m/sec (Fig. 16).

During the last years, with changes in the lake's hydrological regime, the intensity and frequency of the winds has also changed.

Yearly distribution of precipitation in Lake Sevan basin corresponds to the peculiarities of its terrain (Fig. 17, 18). Due to a conclave terrain the most part of precipitation falls on mountain slopes of the catchment basin and the least part falls on the lake's surface. This fact together with a high inclination of the terrain

[2] The authors are not mentioned in the Armenian version; they are mentioned in the corresponding chapters of the Russian version.

of basin and composition of rocks promotes washing out of wastes of economic activity, as a result of which polluting substances inflow into the lake with surface streams formed by thawing waters and precipitation.

The average annual precipitation level in Sevan basin is about 500 mm, of which nearly 360 mm falls directly on the surface (Fig. 18).

The level of atmospheric precipitation and its distribution is of great importance both for water balance of the lake and in the hydro-ecological interdependence of water and air basins. The latter in its turn determines the volume of substances of anthropogenic origin (industry, agriculture, animal husbandry, etc.) inflowing into the lake with diffusive and surface streams.

CHAPTER 3.
INFLUENCE OF THE CATCHMENT BASIN OF LAKE SEVAN ON THE PHYSICO-CHEMICAL AND HYDRO-ECOLOGICAL PROCESSES OF THE LAKE

The catchment basin influences the lake's system mainly through rivers (Fig. 8).

There are 28 rivers flowing into Lake Sevan (4 rivers to MS, 24 to MjS). The overall area of their catchment basins constitutes 76% (2776 $km^{2)}$ of the total catchment basin. The total intrabasin territory of rivers is 24%.

After lowering of the lake's level, the area of the catchment basin increased insignificantly by 172 km^2 (5%).

The total annual volume of the waters of rivers inflowing into the lake, except Arpa River, constitutes 780 mil m^3 (24.7 m^3/sec) and together with Arpa River – 1016.5 mil m^3 (32.2 m^3/sec).

Before the lake's level lowering the volume of the rivers' overall flow constituted 1.34% of the 58.4 km^3 lake water. At present, the mentioned quantity is 2.32% excluding Arpa River (0.780 km^3 of the 33.8 km^3 lake water).

So, the relative value of natural inflow increased 1.77 times owing to decrease of the volume of Lake Sevan (it decreased from 58.4 km^3 to 33.4 km^3). If we consider Arpa River as well, then overall natural inflow constitutes 3% of the lake's total volume (1020 km^3 - together with Arpa River, 33.8 km^3 in the lake) due to which the ratio of river inflow to lake's water volume became 2.24. Thus, if before the lake's level lowering the relative influence of catchment basin on the lake was 1.77, now it has reached 2.24.

During 1928-1930 the hydro-chemical composition of the rivers that inflow into Lake Sevan was characterized by relatively low content of minerals (considerably lower than in the lake), by hydro-carbonate type of water, predominance of calcium, high content of silicic acid and phosphates, and low content of organic substances and mineral nitrogen (Table 11, 12, 13).

During the last 60 years the chemical composition of the river waters inflowing into Lake Sevan has changed but some of these changes are not so considerable in the biogeochemical circulation of substances in Lake Sevan (Table 1).

The highest volumes of organic substances flow into the lake during spring and autumn floods. More than half of the annual quantity of nitrogen and phosphorus inflow into Sevan with rivers in April-June (Fig. 29, 30).

Compared with 1929, the volume of mineral forms of nitrogen inflowing into the lake has increased 7 times in 1979-1980 and 10 times in 1982-1989 after connection of Arpa River (from 229 t it reached 2290 t) (Fig. 42).

The quantities of phosphorus compounds have changed slightly compared with 1929. The volume of mineral phosphorus inflowing into the lake during 1979-1989 increased from 74 t to 100 t and the total volume of phosphorus increased from 133 t to 184 t (Fig.43).

The most part of the total nitrogen and phosphorus inflowing into the lake through rivers and surface waters (57% of nitrogen and 60% of phosphorus) is their mineral compounds.

It is especially interesting to pay attention to the change of the ratio of mineral forms of nitrogen and phosphorus which has great biological importance. If in 1929 it was 3.1, and during 1979-1989 – 16.6 in average, during 1982-1989 this ratio reached 22.9.

Thus, the total amount of nitrogen and phosphorus inflowing into Lake Sevan through rivers constitutes 4000 t and 180 t annually, mineral forms of which are 2300 t and 100 t respectively (Fig. 30; Table 14, 15).

The increase in hydro-chemical indices, especially in nitrogen and phosphorus contents which is the result of extensive and intensive development of industrial activities in the catchment basin, greatly influences the water quality of the rivers (Fig. 26; Table 11).

In the rivers of Lake Sevan, the plankton community (phyto-, zoo-) is poorly developed or is missing, due to rather high speed of river streams. Microorganisms, macrophytes, animals living at the bottom and fishes are well developed; rivers have quite a high self-purifying capability.

The analysis of the species of hydrobionts in rivers of Lake Sevan shows that in general they have little difference from the flora and fauna of other Alpine rivers. River trout, Sevan trout, *Varicorhinus capoeta sevangi (Filippi)*, and *Barbus goktschaicus Kessler* are some of the species of fishes in the rivers of Lake Sevan.

Given the intensification of agricultural and industrial activities and increase of the pressure on recreation system of catchment basin, it is impossible to solve the problem of protection of natural resources of Lake Sevan and their effective utilization without investigation of hydrobiont's quantitative and structural-functional interrelations in the system "catchment basin-lake," as well as the balance of eutrophic and toxic substances (Fig. 1, 31).

Taking into consideration this fact, as well as the importance of ecological evaluation of biogenic elements inflowing into the Lake, we have investigated the influence of separate branches of economics on the eutrophication process in the lake.

Role of Social Economic Activity in the Process of Eutrophication of Lake Sevan

The catchment basin of Lake Sevan (3647 km²) (Fig. 8; Table 20) is situated in five administrative regions: Sevan (444 km²), Kamo (637 km²), Martuni (1185 km²), Vardenis (1151 km²) and Krasnoselsk (697 km²). From Sevan region the basin includes 310 km² (of 444 km²) and from Krasnoselsk region - 364 km² (of 697 km²).

The population in Lake Sevan basin is over 250,000 people which constitutes 8-10% of the Republic's population. During 1975-1989 the urban population increased by 25% and the rural population - by only 1%.

Mode of Life and Industry

From nearly 50 industrial and municipal plants situated in Sevan catchment basin nearly 40-60 thousand m² sewage flows into the lake daily, but the total capacity of the current 6 biological treatment stations and 12 stations of preliminary treatment in the basin is nearly 10,000 m³. Thus, nearly 40,000 m³ of sewage flows into the lake and its rivers daily without treatment.

Comparative evaluation of the importance of various sources of anthropogenic eutrophication is done according to the scheme of territorial distribution of nutrient substances (nitrogen, phosphorus).

Calculations are based on statistical data of population density on 1 km² where at 150 man/km² density the average annual quantity of nitrogen and phosphorus is taken as 0.66 g/m² and 0.08 g/m² respectively. These data are increased by 20% owing to technogenic flows (urban, road and industrial); thus, the following values are taken as the outcome from 1 m²: nitrogen – 0.8 g, phosphorus – 0.1 g.

According to the aforesaid calculations, in conditions of the catchment basin of Lake Sevan the amount of nitrogen and phosphorus produced by one person constitutes 4.8 kg and 0.6 kg annually respectively. The analysis of these data shows that during the last 50 years the population of the basin has increased 1.5-2.5 times, and accordingly, the inflow of nitrogen and phosphorus from these sources has increased from 755 t (1940) to 1363 t (1990) and from 94 t to 170 t respectively (Fig. 33, 34; Table 21 ,22).

Agriculture

The main factor of complex development of agriculture is the extensive development of agricultural production based on chemicalization, automation, and improvement of production process.

In this case we are interested in land utilization because in the Lake Sevan basin the main source of eutrophic, polluting and toxic substances is agriculture (plant-growing and stock-raising).

The generalization of these data permits us to conclude that the volumes of nitrogen and phosphorus compounds which are filtered from soil in dissolved or suspended condition are regulated mainly by the volume of surface and underground water streams, vegetation, agro-meteorological conditions of the

region, etc. For cultivated lands the forms of agricultural machinery, the quantity of fertilizers and the duration of their utilization are of great importance.

Peculiarities typical for the catchment basin of Lake Sevan promoting the inflow of comparatively large amounts of biogenic substances from agricultural activity into the lake are as follows:

- The total area of all rivers' basins of the lake constitutes 76% of its catchment basin (Table 20).
- Most part of the river basins (80-90%) is at 2600 m above sea level where the main agricultural and industrial activities of all administrative regions of Sevan basin are held (Fig. 8; Table 19).
- 70% of agricultural pastures are situated at an altitude of 2000-2400 m above sea level (Fig 8; Table 19).
- Inclination of the basin is 12° on average (9-24°) (Table 19).
- Average speed of river streams inflowing into the lake is 1.0 m/sec (0.2-1.7 m/sec) (Table 19).
- Efficiency of irrigation is 0.56 (0.75 above the ground and 0.75 underground), so the loss of water is 44%.
- Total volume of underground water inflowing into the lake is approximately $100x10^6$ m^3 of which $70x10^6$ m^3 inflows into the lake from high pressure horizon and the remaining $30x10^6$ m^3 - from underground and foreline low pressure horizon, where polluting and toxic substances are diffused mainly from the ground.
- In the Lake Sevan basin soil erosion is highly developed which is the result of ineffective utilization of pastures, low culture of utilization of different fertilizers and chemical herbicides, etc.

We have also calculated the values of eutrophic, polluting and toxic substances inflowing into the lake through surface (rivers, intrariver territories, rain and snow, irrigation, etc.) and underground (underground flows, springs, diffusion, etc.) sources, which constituted 30% or $K_1 = 0.3$ for easily soluble substances and 3.0% or $K_2 = 0.03$ for poorly soluble substances.

Thus, we see on average 5580 t of nitrogen and 330 t of phosphorus flow into the lake annually from various sources, that is, population, industry, stock-raising, and plant-growing (Fig. 42, 43; Table 29).

Livestock Farming

At present, the number of cattle in the Lake Sevan basin is nearly 135,000, the number of small cattle – 405,000, and the number of poultry – 530,000. Compared with 1940, cattle and poultry populations have increased 3.18 times (cattle – 1.26 times, small cattle – 2.28 times, poultry – 10 times) (Fig. 35).

Using the statistical data on cattle and poultry population of Sevan basin, the values of nitrogen and phosphorus content in manure calculated by Vollenweider, as well as the indices of their output calculated by Hovhanissian (K_1 and K_2), we have calculated the values of nitrogen and phosphorus inflowing into Lake Sevan together with surface and underground waters.

These data show that the amount of nitrogen inflowing into Lake Sevan from manure during 1940-1985 increased 1.5 times (1140-1700 t) (Fig, 36; Table 24, 25) and that of phosphorus increased 1.62 times (13-21 t) (Fig. 37; Table 24, 25).

Thus, high inclination of the slopes of the basin, threefold intensified utilization of the pastures and increase of soil erosion promote the inflow of high amounts of biogenic substances into the lake. Consequently, it is necessary to plan further intensifications of livestock farming so that not to allow the inflow of organic forms of biogenic substances into the lake and its rivers.

Plant-growing

The total area of the administrative regions of Sevan basin is 405.5 thousand ha which constitutes 13.5% of the whole territory of the Republic. 360.5 thousand ha is cultivated in the catchment basin; this area has increased by 3.2% compared to 1940-1960s. 60.4% of the cultivated lands in the lake's catchment basin (217.6 thousand ha) are agricultural lands; their area increased 3.26 times compared with 1940-1960s and constitutes nearly 20% of the total cultivated lands of the country (Table 26).

In Lake Sevan basin 37% of the total agricultural lands are arable lands, 1% are perennial plants, 14% are grasslands and 48% are meadows and pastures. Here different crops are cultivated, including cereal crops and legumes (wheat, barley, buckwheat, oats, etc.), potatoes and other vegetables, technical crops (tobacco), forage crops (corn), and annual and perennial plants, the total harvest of which constitutes several hundred thousand centners a year.

Together with the development of agriculture and expansion of cultivated lands, the utilization of mineral and organic forms of different fertilizers such as nitric (carbamide, saltpetre), phosphoric (superphosphate) and potassic fertilizers, also increased (Fig. 38, 40).

The values of utilized nitric and phosphoric fertilizers are calculated by the following equations:

$$N \text{ (nitrogen, kg)} = 0{,}3\ (0{,}40\ N_{min.} + 0{,}005\ N_{org.}) \quad (1)$$
$$P \text{ (phosphorus, kg)} = 0{,}03\ (0{,}2\ P_{min.} + 0{,}002\ P_{org.}) \quad (2)$$

where

0.3 and 0.03 - indices of output of eutrophic and polluting substances

0.4 and 0.2 - indices showing the values of nitrogen and phosphorus respectively in the total amount of utilized mineral nitric and phosphorus fertilizers

0.005 and 0.002 - indices showing the values of nitrogen and phosphorus entered into the ground from the total amount of utilized organic fertilizers

Thus, for the basin of Lake Sevan and similar lakes we propose to accept that from the total amount of utilized mineral and organic fertilizers in the lake's basin, 12% nitrogen and 0.6% phosphorus, and 0.15% nitrogen and 0.006% phosphorus

respectively flow into the lake through surface and underground flows.

The analysis of the values of utilized mineral and organic fertilizers show that during 1960-1990s in the Lake Sevan basin from 3000 to 29000 t mineral and from 30000 to 35000 t organic nitric and respectively the same amounts of phosphoric fertilizers had been used; a sharp increase in their utilization began in 1965 (Fig. 38, 40; Table 27, 28). Compared with 1960, the first sharp increase in the utilization of nitric and phosphoric fertilizers took place during 1965-1967 (2.8 times), the second - during 1973-1977 (7.0 times), and the third one - during 1983-1984 and 1987 (9.6 times).

The calculations show that during 1960-1990 the values of nitrogen and phosphorus inflowing into the lake increased more than 10 times; from 400 to 4000 t nitrogen and from 35 to 200 t phosphorus (Fig. 39,41).

The terrain of the lake's catchment basin is broken, separate land patches not exceeding 5 ha, in some regions reaching 15 ha. This can also promote the outflow of biogenic substances together with surface and underground waters. This is the reason why our calculated values of nitrogen and phosphorus are lower. In reality they are higher.

The increase of the effectiveness of agricultural production through intensive utilization of mineral and organic fertilizers surely promoted the acceleration of eutrophic processes in Lake Sevan. It is clear that long-term (since 1960 until now) utilization of mineral fertilizers in high amounts in Lake Sevan basin has had its negative influence on the ecological equilibrium of Lake Sevan.

Summarizing the results of the calculations, it turns out that on average 5580 t nitrogen and 330 t phosphorus inflowed into the lake annually from population, industry, and plant-growing. As for the sources of biogenic elements, the amount of nitrogen from population and industry is 22%, from live-stock raising – 30%, and from plant-growing – 48%. The corresponding volumes of phosphorus are 52%, 7%, and 41%. The percentage of biogenic elements inflowing into the lake from different sources is close to the corresponding percentages of other lakes (Fig. 42,43; Table 30).

Thus, according to the estimated data, 4000 t nitrogen and 180 t phosphorus from the total amount of nitrogen (5580 t) and phosphorus (330 t) inflowed into the lake through the rivers, 1100 t nitrogen and 105 t phosphorus - through intrariver surface streams, and 480 t nitrogen and 45 t phosphorus - through underground waters (Table 31).

The analysis of the obtained data shows that in the period of 1940-1990 the inflow of biogenic substances took place in exponential order.

$$\ln N = (5{,}67 \pm 0{,}26) + (0{,}035 \pm 0{,}004)\, T;\ r = 0{,}954;\ n = 37 \quad (3)$$
$$\ln P = (2{,}74 \pm 0{,}29) + (0{,}037 \pm 0{,}004)\, T;\ r = 0{,}947;\ n = 37 \quad (4)$$

where
N - the inflowing values of nitrogen and phosphorus, t/year
P - years (the last two digits of the year - 40, 50, 51... 90)

The third and fourth equations show that in that period the values of nitrogen and phosphorus inflowing into the lake from the catchment basin increased about 3 times.

This increase in biogenic substances is the most important characteristic feature of anthropogenic influence on the ecosystem of Sevan.

Atmospheric Precipitation

One of the main sources of eutrophication and pollution of the waters of big lakes such as Lake Sevan is atmospheric precipitations which are of great importance for the development of the ecosystem of the lake, due to the following two reasons:

1. In the water balance of the lake atmospheric precipitations constitute 38.5% of the inflow which is lower only by 20% of the total amount of the river waters inflowing into the lake (Table 64).

2. Air over Lake Sevan which is composed of air streams Yerevan-Hrazdan-Sevan is highly polluted.

In precipitations on Sevan basin the content of nitrogen averages 2.4 mg/l, 1.4 mg/l of which are its mineral forms. Taking into account the fact that during the determination of the content of nitrogen the precipitation level was 500-600 mm, it turns out that 1410 t nitrogen flows into the lake annually with precipitation, from which 815 t or 58% are its mineral forms.

The concentration of phosphorus in atmospheric precipitations is largely fluctuating during the year (0.05 mg/l - 0.144 mg/l) and constitutes 0.04 mg/I on average (Table 31).

The annual average volumes of mineral and general forms of phosphorus inflowing into the lake with precipitations constitute 23.3 t and 65.4 t, respectively.

Thus, compared with 1940, now (1982-1990) the total inflow of nitrogen and phosphorus into the lake from different sources has increased 4.2 times (nitrogen - from 1.35 to 5.62 g/m^2 year, phosphorus - from 0.076 to 0.32 g/m^2 year).

Due to surface and underground flows these values have increased 3.3 and 3.6 times respectively (Table 32, 33).

Pollution of Lake Sevan with Toxic Substances

In the process of pollution of Lake Sevan, a significant role belongs to the sharp increase of inflow of polluting and toxic substances of technogenic origin (chemical herbicides, pesticides, heavy metals) from the lake's basin.

Chemical herbicides and pesticides

During 1977-1989 nearly 642 t of 34 different pesticides were utilized in Lake Sevan basin (60 - 120 t annually) (Fig. 44).

Taking into account the indices of the volume of eutrophic, polluting and toxic substances inflowing into the lake with surface and underground streams (for Lake Sevan $K_1 = 0.3$) and the pesticide solubility index ($K_3 = 0.3$) we have calculated the index of the total amount of chemical herbicides that inflow into the lake ($K_4 = 0.09$), which constitutes 9% of the substance.

It turns out from these results that during this period (1977-1986) the average annual inflow of different kinds of chemical herbicides and pesticides into the lake constituted 5-10 t (Fig. 44, 45).

Heavy metals (HM)

In the tributaries of Lake Sevan (Table 44) the content of HMs (Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cu, Fb, Cr, Cd) corresponds to maximum permissible concentrations for fishery waters (MPC 0.0007- 1,0 mg/l).

The most polluted rivers with HMs are Gavaraghat, Vardenik, and Masrik (Fig. 46). The average annual volume of the inflow of HMs into the lake with its tributaries is nearly 100 t.

Nearly 33 t of HM salts flow annually (0.0-0.9 mg/l) into the lake through precipitation and nearly 40-50 t flow out together with Hrazdan River.

The concentration of HMs in the waters of Lake Sevan is not high (0.007-0.7 mg/l). Iron and zinc are the most wide-spread ones (Fig. 47). The vertical distribution of HMs and seasonal changes of their concentration are not homogeneous (Fig. 48; Table 46).

In ground sediments of the lake and rivers (0.02-50 mg/kg in dry weight) accumulation of the mentioned metals takes place and the index of accumulation of some substances is fluctuating from 10^3 to 106.

As for hydrobionts of Lake Sevan, a large amount of mercury (3.0 mg/kg) and zinc (59.2 mg/kg) has accumulated in zooplankton, and magnesium (2.8 mg/kg) and copper (6.8 mg/kg in dry weight) - in zoobenthos (Table 49).

Depending on the species of animals, the accumulation indices of different metals constitute from 300 to 8500 in zooplankton, from 10 to 5000 in zoobenthos and from 80 to 4000 in the bodies of fishes (Table 51).

CHAPTER 4.
PHYSICO-CHEMICAL AND AQUABIOLOGICAL CONDITIONS IN LAKE SEVAN AND THEIR CHANGES DUE TO WATER LEVEL LOWERING

Before the artificial lowering of its water level (1916.2 m above the Baltic Sea level) Lake Sevan was a large reservoir with an average length of 70 km and width of 20 km (Fig. 8).

Due to its level lowering (1897.4 m) the morphometrics of the lake has greatly changed (Table 6).

The catchment basin increased by 172 km^2 (5%) and its ratio to the lake's surface area became 3. The surface area of the lake decreased by 12.2%, the average depth decreased by 34.2%, the highest depth decreased by 19, and the lake volume - by 42.2% (Fig. 51-54).

From the hydro-ecological point of view it has been determined that the process of water level lowering was not even, i.e., it was realized in different speeds (Fig. 49, 50; Table 60-61).

The third phase of water lowering (1949-1962) had a critically negative influence on the ecosystem of Lake Sevan during which a coastal area of 1280 m was drained and the lake's water level lowered by 13 m (Fig. 46-56).

Hydrological changes

The main components of water balance (1250 mil m^3) of the lake are river streams (750 mil m^3) and atmospheric precipitations (500 mil m^3) (Table 64). In natural conditions (1932) the main reason of water loss (1300 mil m^3) was evaporation (1150 mil m^3). Consequently, a project of utilization of Lake Sevan's waters was worked out.

In water balance of the lake the third phase of artificial lowering of the level

(1949-1962) clearly stands out when the volume of released water (2575 mil m^3) exceeded evaporation twice (Fig. 49; Table 64).

In natural conditions the annual amplitude of water level fluctuation was 30-60 cm.

Temperature changes

There is a marked temperature difference between different water layers of Lake Sevan. Before lake level lowering the rise in water temperature of Minor and Major Sevans began in May (3.5-4.0 °C) and finished in August (18-19 °C), but now it begins at the end of April (4.0-4.5 °C) and finishes in July (19-20 °C). The process of temperature distribution during the heating period is going on faster (Fig. 57, 58).

In the surface layers of the lake (epilimnion) water temperature often reaches 17-20 °C in July-August, as a result of which the annual amplitude of temperature fluctuation in surface water layers is increasing. At present, compared with natural conditions of the lake, the temperatures of hydrological spring and summer are higher by 0.5-2.0 °C, and in autumn and winter the temperatures are lower by 0.3-0.8 °C (Fig. 58).

During the last years in the surface layers of the lake (epilimnion) the average water temperature is 4.2-5.0 °C in Minor Sevan and 8-12 °C in Major Sevan, while in natural conditions (before level lowering) it was 3-4 °C in Minor Sevan and 4-5 °C in Major Sevan.

In conditions of the lake's level lowering by 18.8 m, the epilimnion and hypolimnion moved downwards in Minor Sevan, which was at the same time accompanied by the decrease of their volumes: epilimnion by 15-20% and hypolimnion by 50-60%. In Major Sevan the volume of epilimnion decreased by 20-25% and that of hypolimnion - by 90-95%. The shift of epilimnion to the bottom of the lake took place at the expense of decrease of the volume of hypolimnion, up to its full disappearance. Under the circumstances, the epilimnion in Major Sevan came to occupy the most part of the lake's bottom area, later involving into active circulation the ground accumulations which had been isolated for ages due to the existence of hypolimnion.

The water exchange between Major and Minor Sevans has a seasonal character. In spring the stream speed in both parts is not so high, and in summer it becomes higher and more constant. The highest speeds (25-30 cm/sec) are detected near the north coast of the strait, in the upper 10 m layer of the lake (Fig. 60).

The changes in water clarity in Lake Sevan

The average annual dynamics (Fig. 61) of water clarity during the first and the second phases of level lowering had been very insignificant, but during the third phase (1949-1962) it decreased 1.55 times (from 13 to 8.4 m) in Minor Sevan and 1.8 times (from 12.4 to 7 m) in Major Sevan. At present (during relative stabilization of level) the relative water clarity has decreased 3.9 times (from 12.4 to 3.2 m) in Major Sevan, and 3.7 times (from 13 to 3.5 m) in Minor Sevan, as compared to the

1930s (Fig. 62).

The statistical analysis of the data (according to Fischer index) shows that a stable decrease of water clarity was observed in 1949 in Major Sevan, and in 1955 in Minor Sevan. Up until 1955, differences in average values of water clarity in Minor and Major Sevans had not been detected. Since 1956, the average water clarity is higher in Minor Sevan than in Major Sevan (Fig. 63).

Hydro-chemical changes

There are drastic changes in the hydro-chemical regime of Lake Sevan as well. Once a reservoir with oxygen-rich hypolimnion, it has now turned into a reservoir where the content of oxygen at the bottom approaches analytical nil during temperature stratification (Table 69). Deterioration of oxygen regime at bottom layers has taken place during a relatively short period that is 1970-1973 (Fig. 64).

Thus, the development of oxygen-free conditions at the bottom layers of the lake, as well as the reinforcement of substance accumulation processes, promoted diffusion of biogenic substances from sediments and their penetration into water layers, which rapidly increased the volume of biogenic substances in the lake.

The regime of the main biogenic substances has also changed. The waters of Lake Sevan were enriched in compounds of mineral nitrogen (nearly 5 times) high content of which was observed in 1979. In all probability, the increase of the content of mineral nitrogen had taken place earlier. In particular this could have been promoted by mass development of nitrogen-fixing blue-green algae in 1964 and destruction of macrophyte zone.

During the entire duration of the lake's level lowering a decrease in the content of mineral phosphorus has been observed. At present the volume of mineral phosphorus is much lower in Lake Sevan than before its level lowering (Fig. 65-70).

The opposite direction of changes in the volumes of nitrogen and phosphorus resulted in changes of biogenic feeding peculiarities of the phytoplankton.

In spite of many changes in some of the abiotic factors, several components of chemical composition of the water such as the sum of ions and permanganate oxidation (PO) remain unchanged.

Hydrobiological changes

An important consequence of the lake's level lowering and its eutrophication is also the changes in the specific composition of producers (unicellular algae and plants of higher class) and the intensity of their development.

A sharp increase in the primary productivity of phytoplankton (unicellular algae swimming in water layer) (Table 71), which is considered one of the most important criteria of eutrophication process, was noticed at the beginning of the 1970s. Reaching extremely high values during 1975-1978 (7000 kcal/m^2 year), this process later on stabilized on a level (3000 kcal/m^2 year) exceeding the values recorded at the end of 1950s three times. The biomass of phytoplankton also

increased respectively. At present this value is (4000 kcal/m^2 year) (Table 70).

The composition of planktonic algae also increased noticeably and at the same time reappeared *Anabena* and *Aphanizomenon* (from blue-green algae) and *Flagilaria* (from diatoms). All these are indicator species of eutrophication.

As a result of drainage of the lake's coastal area (1949-1962), deterioration of water clarity, and the growing influence of waves (about 90%), the biomass of macrophytes and higher-class aquatic plants decreased 30 to 40 times. Destruction of the zone of macrophytes is the important link in the intensification of eutrophication processes that led to the disturbance of balance of the production-destruction processes in the annual cycle of substance and energy transformation.

During the process of the lake's level lowering and later on, an increase in the quantity of bacterioplankton has taken place, i.e., the quantity of microorganisms has increased 3 times and the productivity is comparable with the primary productivity of the plankton. This fact speaks about the existence of intensive processes of chemosynthesis in the lake (Fig. 71).

The development of consumers (lake fauna) is closely connected with the productivity of the autotrophic link. The increase in primary productivity of phytoplankton is accompanied by a direct increase in productivity of zooplankton and macrozoobenthos. But in both of the mentioned subsystems the increase of productivity is accompanied by species succession and structural composition changes (Fig. 72).

Thus, in zooplankton the number of *Rotatoria* increased sharply. The quantity of *Daphnia* also increased. If during the initial period (1978) *Chironomids* prevailed in macrozoobenthos, later *Oligochaeta* were prevalent. The number of *Gamaridae* reduced significantly.

Fishing increased nearly twice in the lake, but like in lower trophic links, here it was also accompanied by species reconstruction in the fish community. In the ichthyocenosis of the lake, on the contrary, *Coregonus lavaretus sevanicus subsp. nov.* prevailed over *Salmo ischchan* and the latter's quantity sharply reduced (Fig. 74). The ecosystem of the lake was negatively affected by crucians (carp) that had been introduced into the lake by irresponsible people, and their ichthiomass is increasing year by year.

All the described changes are peculiar to a[ll] the lakes and reservoirs where anthropogenic eutrophication has taken place.

Water quality of the lake

The tense water-economic balance of the country, as well as the problem of providing the population with drinking water, make the question of intensive utilization of Lake Sevan's water resources of paramount importance in the process of socio-economic development of the country, since Lake Sevan is the only and the largest source of drinking and irrigation water.

There is currently a shortage of water in several regions of Armenia, including the Sevan basin. Water becomes a restrictive factor for the development of different branches of economics. In Armenia the water volume per capita constitutes

2.7 thousand m^3 annually, though in the former Soviet Union this index was 17 thousand m^3.

Lake Sevan is also the only natural reservoir for fish industry. That is why the water quality of Lake Sevan must correspond to the requirements of the following directions of water utilization:

a) Water utilization as a source of water supply for economic, drinking (centralized and non-centralized) and industrial purposes.

b) Water utilization for industry and recreational purposes.

According to such indices as dry sediments in the water, chlorides, sulphates, general hardness of water, as well as concentration of Cl, Ca, Fe, Zn, Mg, Cu, Si, Co, Ni, Hg, and of chemical herbicides and pesticides, the water quality of Lake Sevan corresponds to all the requirements for drinking and industrial water from the moment of the lake's level lowering until now.

According to chemical and biological indices, until 1963, i.e., until the end of the third phase of the lake's level lowering, the water of Lake Sevan had corresponded to the first class of water quality and had been characterized as a "fairly pure" reservoir (Table 84).

In the fourth phase of the lake's level lowering (1963-1983), due to an increase in the quantity of organic substances of autochthon and allochthon origin and eutrophication of the reservoir, the quality of water gradually deteriorated. This was expressed by an increase in the index of biological utilization of oxygen (BUO), biomass of phytoplankton, and quantity of bacteria. According to ecological sanitary classification and value of BUO, the water quality of the lake oscillates between "fairly pure" and "temperate pure."

Thus, during the period of intensive eutrophication of Lake Sevan, its water quality deteriorated and being between the second and third classifications, according to Jurovsky and Oksiyuk (1984), it corresponded to "fairly pure" water qualification, which required additional treatment to be used for drinking purposes. Since 1984 a partial improvement of the water quality has taken place and corresponding to the second class, it is now characterized as "clear water" which again requires additional treatment.

Hence, before the fourth phase (1963) of the lake's level lowering, according to physical, chemical, and biological indices, Lake Sevan's water was rather "pure" and corresponded to the requirements of water utilization for economic, drinking, and industrial purposes.

Later on, during the process of eutrophication, due to pollution of the lake and its rivers, the water quality deteriorated. At present, after a partial improvement of water quality, it can be used for economic and drinking purposes only after additional treatment.

The quality of Lake Sevan's water is also of great importance for irrigation, because 98% of the total amount of Lake Sevan's waters are utilized for these purposes. It is noteworthy that water quality indices speak about their limited suitability for irrigation. According to Boudanov (1984), water can be used for irrigation in the case of the following ratio of ions $\frac{Na^+}{Ca^{2+}} \leq 1.0$:

This index of irrigation in Lake Sevan is 1.65.

Insufficient water quality of Lake Sevan for irrigation is also connected with high background alkalinity (pH 8.6-9.2) (Table 6), which continues to increase due to intensification of photosynthesis of phytoplankton, the latter being the reason of eutrophication.

These are the main reasons that led to intensive soil salinization in Ararat valley and other lands irrigated by Sevan waters, and now more funds are needed to desalinize these lands. The problem of construction of reservoirs for rain and thawing waters in other regions of the Republic is of great importance, but this work is being delayed due to some reasons.

At present, according to the values of water clarity, dissolved oxygen, permanganate oxidation, as well as the content of nitrates, ammoniacal nitrogen, phosphates, sulphates, and chlorides, and bacterial indices, the water of Lake Sevan corresponds to the xeno-oligosaprobic type of reservoirs which is characterized as a "clear" reservoir and is appropriate for habitation of *Salmonidae* and *Cyprinidae*. According to pH (8.7-9.2) and BUO (1.5-2.3) values, Lake Sevan belongs to beta-alphamesosaprobic reservoirs, where the development of *Cyprinidae* and *Silurus glanis* is possible.

The possibility of utilization of Lake Sevan for fishery is also confirmed by the maximum permissible values (MPV) of heavy metals. Exceptions are iron (MPV – 0.05 mg/l, in lake 0.06 mg/l) and copper (MPV ◦0.002 mg/l, in lake ◦0.03 mg/l), the concentrations of which exceed the MPVs 1.2 and 3.0 times, respectively. The content of chemical herbicides and pesticides in Lake Sevan is also within MPV.

Recently, as a result of eutrophication, the recreational value of the water in Lake Sevan has dropped.

It is necessary to take into consideration that Lake Sevan's water quality deterioration is a result of not only intrareservoir processes but also inefficient utilization of waters of the Lake and its tributaries and their anthropogenic pollution. For the effective utilization of the water resources of Lake Sevan, the problem of taxation for both water utilization and water pollution should be discussed. In this case the tax rate must be differentiated; pollution tax is to be determined according to pollution degrees.

Elaboration of a scientific basis for management of Lake Sevan's natural resources is impossible without working out ecological indices which must take into account both the ecological aspects of Lake Sevan's problem and the requirements of socio-economic development.

Although during 1980-1992 eutrophication processes slowed down, there is little improvement of water quality. Indeed, such indices as water clarity, contents of chlorophyll, nitrogen and suspended substances, and oxygen regime at bottom layers, are still on a high eutrophication level. Conversely, with the decrease of primary productivity of the plankton, the feeding basis of fishes has also decreased. This type of contrasts in the aforementioned processes going on in Lake Sevan's limnosystem must be taken into consideration to work out the right criteria of its natural resources' utilization.

Adoption of such criteria means elaboration of measures which are to aim at prevention of further eutrophication of Lake Sevan.

CHAPTER 5.
ECOLOGICAL AND MODELLING FORECASTING OF EUTROPHICATION PROCESSES IN LAKE SEVAN

The analysis of reasons and peculiarities of eutrophication of Lake Sevan shows that for purposeful slowing down of these processes, it is necessary to pursue measures influencing the system "lake-catchment basin" which will both increase the lake's stability against its catchment basin and restrict the flow of polluting substances from the ground accumulations of the lake.

The most profound way of realization of this task is to raise the level of the lake artificially. It is known that the increase in the average depth of a reservoir brings to a decrease in organic substances (Fig. 92).

It is obvious that the mechanisms which have functioned by positive principle of inverse connections during the lake's level lowering, can function by the negative principle of inverse connection in the case of its level raising (Fig. 79).

Lake Sevan's level raising will also result in its area and volume increase and consequently, it will reinforce its stability against the influence of the catchment basin (according to the index of Kerekes). At the same time, the hypolimnion will be rehabilitated in Major Sevan and stable temperature layering will be created, as a result of which the average temperature of the bottom layers will fall, diffusion of substances from ground sediments will be limited, and the oxygen regime will be improved (Fig. 80, 81, 90, 91).

Determination of the optimum degree of lake's level raising is not only a limnological, but also an important socio-economic problem. From the ecological point of view, it is possible to calculate only the lowest point of the lake's level raising which is necessary to slow down eutrophication processes.

One of the other possible ways is the examination of the functional connections between the morphometric indices of the lake and the parameters which depend on the level of bioproduction processes.

Analysis of the content of chlorophyll "a" and insufficiency of oxygen at the

bottom layers, change of the ratio of area of ground accumulations bordering on epilimnion and the volume of epilimnion, and the connection of temperature stratification and other limnological parameters due to morphometrical changes of the lake show that to slow down the process of eutrophication it is necessary to raise the lake's level by at least 6 m. In that case the following may be expected: to increase the lake's temperature stability, to improve the oxygen regime at the bottom layers, and to limit the diffusion of biogenic substances from ground accumulations as well as the influence of the catchment basin (Fig. 80, 90, 91, 92).

Analysis of biological conditions of the lake's ecosystem based on the ecological production is considered one of the most important and less elaborated directions of modern limnology. Special difficulties appear during the realization of de-eutrophic measures and forecasting of conditions of their ecosystems.

Proceeding from general limnological concepts and expert estimations, it is possible to give the main characteristic features of Lake Sevan's ecosystem after its level raising by 6 m. Such a rehabilitated condition will take a middle position between the present condition (1982-1990) and the condition before its level lowering (1932-1937), that is, the areal deficit of oxygen will be diminished, and the speed of oxygen absorption in a unit of volume of hypolimnion will be reduced. The regime of biogenic elements will essentially depend on the method to be used for raising the lake's level. If activities are implemented to ensure the high water quality of Arpa and Vorotan Rivers inflowing into the lake, the regime of biogenic elements in the lake will be close to the level of the 1940s (for mineral forms N:P = 2:7).

The primary productivity in the lake will remain on the level of 2000-3000 kcal/m^2 annually if the present dynamics of biomass is preserved, i.e., the highest values in spring and autumn, and the lowest values in summer and winter.

The productivity of the consumer community, that is, of zooplankton and zoobenthos, must correspond to the stable level of phytoplankton primary productivity.

In the conditions of the prevalence of *Coregonus lavaretus sevanicus subsp. nov.* in the ichthyocenosis, decrease of fish productivity in the lake and a gradual improvement of the conditions for the development of trout are to be expected.

The general features of the conditions of Lake Sevan's ecosystem described above are also corroborated by the results of mathematical modeling. This approach enables us to check the principal propositions in the basis of the model and to reveal relatively quickly the perspectives of the development of the processes in the lake.

In the model used we tried to reveal the hydroecological patterns expressing the links between the changes of primary productivity of the lake, outer biogenic influence and its morphometrics (Fig. 83). As the object of modeling, we have chosen primary productivity of the plankton the level of which is the main factor of ecological forecasting in conditions of Lake Sevan (Fig. 84).

The following three groups of experiments have been carried out with the model (Fig. 85):

a) In conditions of existing morphometrical changes, the contents of nitrogen and phosphorus have been changed (Fig. 86).

b) In conditions of existing contents of nitrogen and phosphorus, the morphometric indices of the lake have been changed (Fig. 87).

c) Both the morphometrics and the contents of nitrogen and phosphorus have been changed simultaneously (Fig. 88, 89).

Overall, 15 most important methods of influence on the ecosystem of the lake have been examined (Fig. 85). From the analysis of the results of the modeling the following conclusions can be made:

1. The discussed model is very sensitive to the change of phosphorus content. In case of 50% decrease of phosphorus content, the primary productivity decreases twice compared with natural conditions.

Probably as a result of decrease in phosphorus concentration in the waters of the lake and increase in the ratio of volume of phosphorus inflowing into lake, the sensitivity of the ecosystem towards phosphorus is rising. Further decrease of the concentration of phosphorus in the lake leads to limitation of the development of phytoplankton. This phenomenon is described for numerous lakes with Vollenweider Models (Fig. 77).

2. The model is indifferent towards the change of the volume of nitrogen inflowing from outer sources. In case of 50% decrease in nitrogen inflow the ecosystem of the lake is not changed (Fig. 85a(a), 86 A_2).

3. The reaction of the model towards the lake's level raising is not significant. According to the model, the lake's level raising alone results in a slight decrease in the primary productivity (Fig. 85b(б), 87 A_{5-8}).

4. The model is more sensitive towards the influence of catchment basin then towards the morphometric changes. Leaving unchanged the previous (before the lake's level lowering) volumes of inflowing nitrogen and phosphorus and changing the lake's morphometric, it turns out that after a little increase, the primary productivity is later stabilizing on a level which existed before the lake's level lowering (Fig. 88 $A_{9,}$ A_{10}).

5. The most de-eutrophic influence on the ecosystem is made by the simultaneous raise of the level and decrease in the inflow of biogenic substances from outer sources (Fig. 85c(в), 89 A_{11-15}).

These results correspond to the thesis (Hovannisian et al., 1983, 1989, Hovhanissian, 1984, 1985) that the lake's level raising is to be realized with simultaneous water protection measures in the catchment basin of the lake.

CHAPTER 6.
URGENT ECOLOGICAL AND ECONOMIC PROBLEMS OF LAKE SEVAN AND ITS CATCHMENT BASIN

The most important gap in the utilization of the natural resources of Lake Sevan (LS) and its catchment basin is the lack of unified legislative economic policy which takes into account the ecological aspects of Sevan limnosystem, which resulted in the utilization of natural resources of Lake Sevan by different administrations for mercenary motives.

It is necessary to reconsider the principles of utilization of the natural resources of Lake Sevan and its catchment basin to minimize the negative influence of economic activity on the limnosystem as a whole. Their development in the future must be carried out in strict accordance with ecological and functional requirements promoting the protection, rehabilitation and rational utilization of water, fish, land and other natural resources of Lake Sevan and its catchment basin.

We believe that **the protection, rehabilitation, and effective utilization of the natural resources of Lake Sevan and its basin is impossible without reconstructing Lake Sevan and its basin into a single strongly controlled ecological-economic region where all the peculiarities of socio-economic activities will be taken into consideration**. Consequently, it is necessary to work out and legislatively adopt a "permanent ecological-economic policy on economic activity in the region of Lake Sevan and its basin" which will ensure the protection, rehabilitation and effective utilization of the natural resources of the region.

It is obvious that the tense situation of the Lake Sevan ecosystem is a result of 4 strong negative anthropogenic changes in the lake ecosystem:

1. Lowering of the lake level which led to strong hydrological and morphometric changes.
2. Intensive and extensive development of national economy in the lake catchment basin.

3. Air pollution in Sevan catchment basin.
4. Acclimatization of whitefish and crucians (carp) in the lake.

The first three changes, affecting the lake ecosystem from below, influenced all the physical, chemical, and biological primary processes and links of trophic chain in the lake. The fourth change, affecting the lake ecosystem from above, in different periods influenced the balanced interrelations of energy transference created between the links of trophic chain through centuries.

The result was the fact that in the lake limnosystem the patterns of biochemical circulation of substances, the balance of synthesis and destruction processes, the structural and functional relations between hydrobionts, and energy balance in the trophic chain were disturbed, which led to lake eutrophication, biological pollution, and significant deterioration of the lake's water quality.

Taking into account the aforementioned as well as the destabilized and tense situation of the Lake Sevan ecosystem where any incorrect human interference may lead to the irreversibility of the eutrophication processes and to final loss of the water quality, we think it will be correct to create a specialized permanent Commission which will be authorized to:

1. Carry out thorough analysis of all the resolutions adopted in the last 20 years concerning the utilization of natural resources of Lake Sevan and its catchment basin, and in case of well-grounded necessity, make proposals on their cancellation.
2. Summarize and finalize all the ecological, economic, and juridical conclusions that contain the analysis of the current conditions of utilization of Lake Sevan and its catchment basin's natural resources.
3. Coordinate the works and recommendations on the formation of a unified "Conception" (policy) and "Comprehensive scheme on the protection, rehabilitation, reproduction and rational utilization of the natural resources of Lake Sevan and its catchment basin," taking into account ecological, economic and energy peculiarities of the Sevan region and the whole country.

Taking into account the foreign and local experience regarding the problem, we can pick out in particular the following key propositions applicable for Lake Sevan:

a) According to the proposed "Conception:"

1. Lake Sevan is the perspective source of drinking water supply for Armenia and the region and a reservoir of fish-breeding. Utilization of natural resources (including water) of Lake Sevan and its catchment basin in any sphere of national economy of the Republic must be done in a way so that not to disturb the drinking and fishery qualities of the water of Lake Sevan and its tributaries.
2. It must be confirmed legislatively that the ecological systems guaranteeing

the drinking quality of the lake's water, the natural landscape of the coastal line, the air space, water, fish, land, forest, hunting and other natural resources of Lake Sevan and its catchment basin are subject to protection, rehabilitation, and reproduction.

3. Considering Lake Sevan a potential source of drinking water supply and proceeding from slow water circulation (25 years) in it, it is necessary to set up norms of inadmissible concentration of polluting and toxic substances in Lake Sevan and its tributaries and to consider inadmissible any changes of water composition.

b) According to "Comprehensive scheme on the protection, rehabilitation, reproduction and rational utilization of the natural resources of Lake Sevan and its catchment basin" it is necessary:

1. To draw up a program of a unified criterion of rational utilization of the natural resources of Lake Sevan, Kechut and Spandarian reservoirs, and Arpa and Vorotan rivers and their catchment basins combining environmental and socio-economic aspects of the regions.
2. To draw up a well-grounded program of national economy planning and management in the catchment basins of Lake Sevan, Kechut and Spandarian reservoirs, and Arpa and Vorotan Rivers, fully subordinating them to the worked out unified criterion.
3. To work out a general strategy of development of production capacities and, in accordance with it, to improve the economic development of the Sevan region with delivery of recommendations (activities) on its implementation.

The selection of the directions in the implementation of the proposed strategy must be done based on the comparison of alternative variants of region development considering ecological-economic parameters close to natural (optimal) ones.

All these give us grounds to implement the following recommendations of primary importance:

1. To re-orient the allotted capital investments to the reconstruction and technological improvement of industrial plants in the catchment basin of LS, as well as the construction of some productions with utilization of ecologically pure technologies.
2. To change the technology and structure of agricultural production, both in plant-growing and stock-raising.
3. To set up norms and to plan the development of recreational complexes in the region.
4. To work out regulations, as well as methodological directions, on the protection of water resources of the ecosystems of LS and its tributaries,

Spandarian and Kechut reservoirs, and Arpa and Vorotan Rivers.

5. To establish, by legislation, the norms of maximum permissible concentrations (MPC) and maximum permissible emissions (MPE) from the sources of polluting and toxic substances as a result of economic activity in the form of "ecologically highly dangerous, moderately dangerous and rapidly decomposing substances," with achievement, in the long run, of specific ecological-economic indices aiming to meet the required level of functioning of ecosystems of LS and its tributaries, as well as Spandarian and Kechut reservoirs and Arpa and Vorotan Rivers.
6. To create a network of ecological monitoring (water, air, land) constantly controlling the concentration of eutrophic, toxic and polluting substances in the catchment basin of LS, Spandarian and Kechut reservoirs, and Arpa and Vorotan Rivers, with a common center for data processing and information transmission[3].
7. To create sanitary - water protection zones with no less than 100-200 m width around the entire coastline of LS and its tributaries, as well as Kechut and Spandarian reservoirs, and Arpa and Vorotan Rivers. This will promote the biological filtration and clearing of subsoil and surface waters from biogenic elements and other polluting and toxic substances, as well as rehabilitation of fauna and flora peculiar for water-forest biocenoses.

In sanitary - water protecting zones, it is necessary to restrict the pollution of air, water and land, and the direct flow of household, industrial, and agricultural waters into reservoirs and rivers, to legislatively confirm the scientifically well-grounded planning of special rules for cultural and recreational activity, hunting, amateur and industrial fishery, and to envisage special requirements for historical-architectural monuments and other requirements peculiar for strictly controlled sanitary - nature-protecting zones.

At the core of the "*Comprehensive scheme on the protection, rehabilitation, reproduction and rational utilization of the natural resources of LS and its catchment basin*" must be the maximum permissible concentrations of any anthropogenic influence on the ecosystem and regulations of protection of water, fish, and other natural resources of the ecotones of LS and its tributaries, as well as Kechut and Spandarian reservoirs, and Arpa and Vorotan Rivers.

Proceeding from the priority of the problem of nature protection and optimal industrial resource utilization, the exploitation of natural resources of LS must be done guaranteeing maximum high water quality of LS for drinking water supply in the Republic and, respectively, for productivity of main fish species (trout and whitefish).

Taking into account the aforementioned, we must admit that to rehabilitate the water quality and the productivity of valuable fish species in LS on the basis of

---

[3] The results of the hydro-ecological and hydro-biological research can serve as eco-indicators for the solution of the aforementioned complex scientific and prognostic problems.

generalization of modern views about its eutrophication processes, it is necessary to implement a number of concrete and practical activities on the management of oligotrophication processes. They must be realized in both subsystems of LS ecosystem - "LAKE" and "CATCHMENT BASIN."

Subsystem "LAKE"

Based on the thorough analysis of the entire material on abiotic and biotic factors of LS eutrophication (1920-1990), mathematical modelling of the lake's autotrophic link and the main principles of modern limnology, it is ascertained by the Institute of Hydroecology of National Academy of Sciences of Armenia that to slow down the eutrophication intensity of LS and to accelerate its further oligotrophication, it is necessary to raise the lake level by a minimum of 6 m (up to 1903.5 m above sea level), with simultaneous implementation of measures on prevention of flow of eutrophic and polluting substances from the catchment basin into the lake.

Raising of the lake level can be realized:

1. By increasing the flow of tributaries into the lake through redistribution of river streams of the Kura River basin (since 1981 a part of the Arpa River stream has been transferred into the lake, work on transference of the Vorotan River is soon to be completed).
2. By decreasing the surface outflow of the lake as a result of construction of a system of reservoirs for irrigation needs.

It must be taken into account that the transference of water into LS contains a threat of additional flow of eutrophic and polluting substances from the catchment basins of Arpa and Vorotan Rivers, and Kechut and Spandarian reservoirs. Therefore, timely measures on the catchment basins of the mentioned rivers and reservoirs are necessary, to completely prevent the inflow of biogenic and toxic substances of anthropogenic origin into the lake.

The rise of LS level by a minimum of 6 m will lead to an increase in the lake's thermostability, water clarity, and periods of temperature stratification, improvement of oxygen regime in ground water layers, rehabilitation of macrophyte zones, decrease in the lake trophic status and, as a result, to a decrease in heterotroph production.

Due to Lake Sevan's level raising, vast territories of forest will be submerged. Decomposition of submerged wood during a long period of time will become a considerable source of additional pollution for the lake water. Meanwhile, submerged vegetation will create obstacles for industrial fishery.

The international experience of utilization of resources of reservoirs with changeable morphometrics (to which Lake Sevan belongs) shows that there is only one way to neutralize the negative consequences of lake's level raising, i.e., remove the wood from submerged territories before raising the water level.

A program of gradual removal of wood from coastal territories of Lake Sevan

basin which are to be submerged during the lake level raising needs to be worked out. Removal of wood must precede level raising by 2-3 years. Simultaneously, new forests must be planted in Lake Sevan basin at an altitude of higher than the 1905.5 m point over the Baltic Sea level (8 m higher than the present Lake Sevan level).

Subsystem "CATCHMENT BASIN"

In existing conditions of strong anthropogenic influence of the catchment basin on Lake Sevan's limnosystem, a necessity arises to urgently solve the problem of combining further economic development in the lake's basin with requirements of protection and rehabilitation of the lake's and its tributaries' water quality and rational utilization of their biological resources. That is why it is necessary to radically reconsider the principles of approach as well as the spheres of economic activity in the basin of Lake Sevan.

To prevent the penetration of eutrophic and polluting substances into Lake Sevan and its tributaries, it is necessary to implement the following measures in the household economy, industry and all the spheres of agricultural activity.

a. Population

1. To work out measures on ecological-economic zoning and a program of inter-economic planning, with strict nature protection accent and providing the population with employment.
2. To work out a program on limitation of artificial increase in population and to strengthen the control over the anthropogenic influence on the catchment basin of Lake Sevan.
3. To give priority to the construction of sewerage systems in Kamo, Martuni and Vardenis towns, with parallel construction of a modern sewage disposal station with preliminary, biological, and chemical treatment.

To realize natural pre-treatment of sewage in artificial reservoirs and ponds and only after that to direct them to rivers or utilize in various spheres of economics.

b. Industry

1. To work out measures on restriction of pollution of the lake and its tributaries from industrial sources by improving the production technologies using recycling water supply systems or else reconstructing, closing, or moving some industrial and processing plants out of the borders of Sevan basin.
2. To work out measures on recycling and secondary use of household, industrial solid and hard-to-degrade waste.
3. To take measures on stopping of extraction of construction materials and other natural resources in the Sevan basin without a special permission, with strict control. It is necessary to work out ecologically and scientifically well-grounded working projects on recultivation of lands.

4. To set strict control for preventing pollution of water sources and irrigation canals with industrial, household, and agricultural sewage.
5. To begin without delay the construction and reconstruction of local sewage disposal systems of regional and city plants. To restrict legislatively the activities of any plant without treatment facilities, if it is necessary for these plants.

c. Irrigation

1. To construct new hydroeconomic objects and small reservoirs in the Republic to decrease the utilization of Lake Sevan waters for irrigation needs.
2. To straighten (engineering and vegetation) the coastal lines and riverbeds and to perform sanitary cleaning of all the rivers (especially spawning rivers) of Lake Sevan basin.
3. To reconstruct the irrigation network and to work out an efficient method of irrigation to prevent irrigation-induced soil erosion in Sevan basin.
4. To study subsoil waters to find out the area of influence of polluted subsoil waters and on the basis of this to work out measures for their interception in especially polluted areas, by constructing drainage collectors and directing these waters into sewerage system or treatment stations.

d. Plant-growing

1. To work out a scientifically well-grounded system of utilization of agricultural lands. To reconsider the structure and distribution of crops in the Sevan basin aiming to pass on from single-crop system to polycultures.
2. To introduce a system of agrotechnical modern arrangements providing optimal yield using a minimum of mineral fertilizers and considering the concentrations of nitrogen and phosphate in soil.

Fully reconsider the structure of mineral fertilizer utilization in the basins of Lake Sevan, Kechut and Spandarian reservoirs, and Arpa and Vorotan Rivers, opting for fertilizers characterized by the lowest values of delivery rate and solubility.

3. To work out and introduce methods of passing on from mineral to organic fertilizer utilization (manure, compost, peat, etc.) as ecologically less harmful.
4. To work out, according to ecological-economic regions and farms of the Sevan basin, and to introduce soil protecting crop rotations, increasing the share of perennial fodder crops instead of intertilled crops.
5. To work out a set of measures on the improvement of natural meadowlands to raise the productivity of pastures and hayfields, fully

excluding the utilization of mineral fertilizers and chemical pesticides, widely introducing the system of perennial crop pastures and pasture rotation in natural forage lands.

6. To carry out all-round full soil, soil-erosive and agrochemical study of the basins of Lake Sevan and Kechut and Spandarian reservoirs, to find out the changes in soil properties as well as the level of its anthropogenic pollution, aiming to protect the soil and the water and air environments.
7. To work out and implement nature-protecting measures toward rational agricultural activity in eroded soils.
8. To work out and implement measures for the creation of antierosive forest belts in the Sevan basin.
9. To work out and introduce a system of higher purchase prices for ecologically clean agricultural production (vegetables, meat, fruits, etc.), produced without utilization of any kind of mineral fertilizers and chemical pesticides and herbicides.
10. To provide all the farms (private and state) with the necessary agricultural machinery for soil-protecting agriculture.

Taking into consideration the destabilization of the lake and the fact that the observed increasing accumulation of chemical pesticides and herbicides, heavy metals, and other toxic substances in the water and hydrobionts may result in deep, irreversible structural and functional disturbance of the whole ecosystem or the lake, it is necessary to do the following:

11. In agricultural lands at an altitude of lower than 2300 m (above sea level), to strictly prohibit the utilization of all kinds of chemical pesticides and herbicides and other chemical substances, introducing biological methods of pest control.
12. In agricultural lands at an altitude of higher than 2300 m (ASL), to possibly utilize biologically well-grounded minimum quantities of chemical pesticides and herbicides, strictly adhering to the forms, methods, choice, norms, and time of their utilization.
13. To work out a system of measures and methods to neutralize the remnants of chemical substances in soil and irrigation waters and to prevent their inflow into the lake and its tributaries.

e. Stock-raising

1. In order to increase the productivity of natural forage lands, as well as to reduce the flow of organic forms of nitrogen, phosphorus and other ingredients of animal excrements into Lake Sevan and its tributaries, it is necessary to transfer the farms from ecologically dangerous zones of inflowing water basins of Lake Sevan, Kechut and Spandarian reservoirs,

and Arpa and Vorotan Rivers to neutral zones, and to build manure storage facilities there according to modern nature conservation requirements.

2. In order to prevent the process of soil erosion as a result of irrational utilization of natural forage lands and small cattle overload, it's necessary to make scientifically well-grounded changes in the ratio of small and neat cattle populations all over Sevan basin.

f. Fishing industry

In order to work out the scientific basis of rehabilitation, protection, and rational utilization of fish resources of Lake Sevan and other reservoirs of Armenia, implementation of the following fish-farming and irrigational measures is necessary:

1. Irrigation of state and private agricultural lands, as well as technical water supply of different spheres of national economy must be done by taking water immediately from the lake, strictly prohibiting the utilization of the water of the main spawning rivers and their springs for these purposes.
2. To exclude further planning and construction of hydrotechnical facilities and other objects on spawning rivers and near the places of spawning in the lake, except for nature protecting constructions that have the necessary ecological ground.
3. To prohibit changing of separate sections of riverbeds leading to increase of water stream speed which can result in flooding of hydrobionts and spawn as well as young fish.
4. To prohibit thoughtless and accidental introduction of new species of fauna and flora into Lake Sevan and other reservoirs of Armenia, ensuring strict control by organizations and respective departments in charge of these reservoirs.
5. In order to rehabilitate and preserve the ecological equilibrium of trophic interrelations in Lake Sevan it is necessary to take strict measures on protection of the fish stock, in particular, from poaching, which can cause damage to both fish industry and the whole ecosystem of Lake Sevan.
6. All kinds of fishery (industrial, amateur, etc.), as well as issues related to acclimatization of fishes in Lake Sevan and other reservoirs of Armenia are to be implemented only after coordination with the Institute of Hydroecology and Ichthyology of National Academy of Sciences of Armenia on the basis of scientific and practical recommendations.
7. To create a modern scientific and technical basis in Armenia for the management of the fish industry (fish-breeding and fishing) utilizing the international scientific and technical potential (fish-breeding farms, scientific equipment, exchange of specialists, etc.).

EPILOGUE

The Republic of Armenia as a geographic region is now in a very complicated and unstable ecological situation which is the natural result of momentary, thoughtless and consumerist policy towards Nature and its resources.

During the past 50-60 years engineering and technical approaches were applied for the development of energetics and economics in the country which permitted to utilize natural resources with minimum expenses, absolutely ignoring ecological consequences.

As a result of this approach, we see deep ecological transformations in the limnosystem of Lake Sevan.

Up to now, nature protection problems on the one hand and socio-economic problems on the other hand have been considered separately.

So, by the example of Lake Sevan we can say that the socio-economic consequences of the lake level lowering, its eutrophication (accumulation of organic substances) and pollution, transference of rivers from other regions of the Republic, as well as salinization of soils of Ararat valley have still not been estimated.

Today, the task of first and fundamental importance is to work out a complex ecological and economic approach to find out the "golden mean" between "zero" utilization of natural resources (as in reserves) and exploitation leading to irreversible deterioration of environment quality.

Such utilization of natural resources will be reasonable and rational.

So, scientifically not grounded solutions of economic problems fully or partially connected with the utilization of natural resources and not considering its ecological consequences will undoubtedly lead to many new economic and ecological problems in the future, with inevitable deterioration of vital environment.

This may be expressed in two patterns:

1. The development of the society only by energetic and economic criteria undoubtedly leads to ecological crisis.
2. The development of the society only by ecological criteria undoubtedly leads to energetic and economic crisis.

Unfortunately, both patterns have been detected in Armenia.

Armenia up to 1989 in an example of the first pattern when in determination of the possible consequences of nature transformation and the location of construction of plants of chemical industry, coal mining and processing, thermo-electric power station, different factories, etc., only the economic benefits were considered, and the geographic peculiarities and climatic conditions served only for technical solutions of these objects. The possibilities of disposal of harmful wastes, sewage, the area of its spreading, soil erosion and many other aspects weren't considered. A similar approach is seen not only in economics and

energetics, but also in agriculture (plant-growing, stock-raising) and all other (social-communal, recreation, fishery, etc.) spheres.

The necessity of utilization of Lake Sevan's water resources for development of the energetics and economics of the Republic was justified and partially realized. But ignoring the ecological norms led to the fact that the problem of utilization of the lake water resources turned into the problem of the lake itself. The main cause of this is the absence of legislatively confirmed criteria of the lake's natural resources utilization. The wording under "According to the proposed "Conception:" heading, points 1, 2, 3 may serve as basis for such a law.

Another example: on the basis of a half-done and thoughtless "project," without any consultations with the specialists of the Institute of Hydro-ecology and Ichthyology of National Academy of Sciences, they begin to build a huge construction - annular sewerage system around Lake Sevan (almost 250 km, at a cost of 300 mil roubles by 1988 prices) without joining towns, villages, and storm sewers to a sewerage system, huge territories are dug on the way of the annular sewerage system which will remove only 10% of all polluting and toxic substances of the catchment basin. The main source of pollution of the lake, as it has been mentioned above, is not sewage, but agriculture as a whole (fertilizers, animal excrements, chemical pesticides and herbicides, mass soil erosion, uncontrolled fishery, etc.).

After the declaration of independence of Armenia (since 1989) we passed on to the second, not less, but maybe more unacceptable way (second pattern).

The "ecologists" (Greens, representatives of different public and official organizations) demanded to close the Armenian nuclear power plant, the Nairit chemical plant, the Alaverdi mining and metallurgical plant, the Kirovakan chemical plant, the Hrazdan energy-industrial complex, etc., to improve the ecological situation in the Republic according to their "scientifically well-grounded" arguments.

This resulted in a deep economic and energetic crisis in the Republic, negative ecological consequences (mass felling of trees, inadmissible sanitation level, repeated destabilization of Sevan ecosystem due to increase in water utilization). Did any of them realize how cold, hunger, carbon monoxide from gasoline, petroleum, and the effect of darkness, being serious ecological factors, would influence the human being?

Taking into account these patterns and the need to improve the ecological situation in Armenia, it was necessary to choose the path of scientifically well-grounded and consistent nature conservation reorganization and not the path of unprofessional, superficial decisions. It's necessary to remember that incompetent solution of any ecological problem, especially decisions contradicting logic, if not today, in the nearest future will undoubtedly aggravate the energetic and economic situation in the Republic.

Generalizing the aforementioned as well as taking into account the two mentioned patterns, we can deduce the following law: the law of the "Three E's."

Dynamically progressing socio-economic development of any geographic region with minimum disturbance of natural environment depends on the ability of the state to manage the two-way interregulating connections between ecology, energetics, and economics.

In modern conditions, due to creation of new industrial and agricultural regions and settlement with populations of thousands of people, considerable anthropogenic transformations of entire natural landscapes and geographic zones have taken place in Armenia. Here numerous socio-economic problems arise connected with the determination of optimal ways of development of national economics together with rehabilitation of degraded ecosystems and minimizing environment pollution.

In order to solve the mentioned problems, mastering of the law of the "Three E's" is necessary not only for executive employees and specialists working in different spheres of national economy but also for ecologists - biologists, geologists, chemists, etc. - who are categorical about "pure nature" and forget that for the development of mankind, besides ecological "purity," progressing development of energetics and economics is also necessary.

That's why scientifically well-grounded estimation and forecasting of the ecological situation requires enhancing the ecological and ecological-social complex studies which will comprehensively take into account the specific character of the natural region studied.

The Law of "Three E's" and Politics

From the ecological point of view any country as a separate socio-economic and administrative region is part of the integral ecological region which can include dozens of countries with different levels of socio-economic development and different political systems. Thus, a part of the state territories of Armenia by the catchment basin of Kura River constitutes a single ecological region together with territories of Georgia and Azerbaijan, and another part by the catchment basin of Araks River constitutes an ecological system together with Turkey, Iran and Azerbaijan.

Thus, it is clear that in such conditions, ecological and conservational disturbances in any country of the given ecological region, irrespective of their interrelations, will lead to negative consequences in the territories of the neighbouring countries. That's why the "ecologically polluted" country, in any case, sooner or later, will be obligated to mobilize all its potential to improve the ecological situation of its administrative territory, otherwise it will be done under the economic and political pressure of the neighbouring states.

That's why, while solving any economic or energetic problem in a civilized state, the ecological patterns are first to be considered.

The analysis of the level of development of ecology and other branches connected with it unfortunately shows that fundamental and applied scientific studies in ecology are dispersed and not sufficiently developed in general, due

to which there is a clear discrepancy between the problems in different areas of interrelations of the society and environment, and development of fundamental and applied basis to solve these problems.

Taking into account the aforesaid, it's high time for the National Academy of Sciences of Armenia, the Ministry of Higher Education and Science and the Ministry of Education to pay special attention to promoting ecology development, to work out and take necessary measures to cover the considerable gap between ecological science and requirements of life and practical activity of humans.

Thus, ecological policy is one of the most important directions of general policy of any civilized state, as well as one of the main ways providing inner- and interstate political, economic, energetic, social, and cultural mutually beneficial interrelations.

That's why it will be correct, as in many civilized countries, to establish a special ecological Commission at Presidential or Governmental levels, subordinated it directly to the Head of State, involving highly trained specialists-ecologists, ecologists-economists, power specialists, sociologists, and competent representatives of other branches with practical experience, which will coordinate and direct all the fundamental and applied directions in ecology and will control the ecological and environmental situation in the Republic. The Commission will advise the Government, providing scientifically well-grounded ecological examination of important energetic and economic problems.

To my mind, all the aforementioned reorganizations in the ecological policy of Armenia are the basis of long-term, dynamic, progressing and civilized development of our society, improvement of the population's life, and preservation of the unique Armenian nature for coming generations.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ К РАЗДЕЛУ 1

1. *Авакян А.Б., Каминский В.С., Фальковская-Чернышева Л.Н.* Источники поступления биогенных веществ в крупные водоемы (на примере Иваньковского водохранилища) // В кн.: Антропогенное эвтрофирование природных вод. Черноголовка, 1977. Ч. 2. С. 259–264.

2. *Адаменко В.Н.* Климат и озера (К оценке настоящего, прошлого и будущего). Л., 1985. 264 с.

3. *Азатян Э.Л., Вирабян У.М., Торосян И.С., Торосян А.С.* Климат (глава 2) // Ресурсы поверхностных вод СССР (серия монографий). 1973. Т. 9: Закавказье и Дагестан. Вып. 2: Бассейн р. Аракс. С. 43–62.

4. *Айнбунд Л.Н., Кириллова Т.В.* О радиационном балансе озера Севан // В кн.: Результаты комплексных исследований по севанской проблеме. Ереван, 1961. Т. 1: Метеорология и гидрология. С. 197–209.

5. *Айнбунд М.М.* Некоторые вопросы термики озера Севан // Тр. III Всесоюзного гидрол. съезда. Л., 1959. Т. 4: Секция озер и водохранилищ. С. 244–258.

6. *Айнбунд М.М.* К вопросу о термическом режиме озера Севан // В кн.: Результаты комплексных исследований по севанской проблеме. Т. I: Метеорология и гидрология. Ереван, 1961. С. 324–335.

7. *Айнбунд М.М.* Составляющие теплового баланса и термического режима озера Севан: автореф. дис. … канд. геогр. наук. Л., 1964. 31 с.

8. *Айнбунд М.М.* Тепловой баланс озера Севан // Сб. работ Ереванской ГМО. 1966. Вып. 1. С. 44–104.

9. *Айнбунд М.М.* Гидрологические исследования озера Севан на современном этапе решения севанской проблемы // Тез. докл. V Всесоюз. гидролог. съезда. Л., 1986. С. 17–18.

10. *Айнбунд М.М., Асарин А.Е., Сафарова А.М., Смирнов В.А.* О водном балансе озера Севан и путях его уточнения // Тр. ГГИ. 1981. Вып. 274. С. 10–21.

11. *Акопян М.А., Демин Ю.Л.* Численное моделирование течений озера Севан // Метеорология и гидрология. 1982. № 8. С. 68–74.

12. *Акопян М.А., Торгомян Г.М.* Расчет поля скоростей озера Севан методом математического моделирования // Изв. АН АрмССР. 1980. Т. 33. № 1. С. 34–39.

13. *Алабастер Дж., Ллойд Р.* Критерии качества воды для пресноводных рыб. М., 1984. 343 с.

14. *Алекин О.А.* Гидрохимические типы рек СССР // Тр. ГГИ. 1950. Вып. 251 (79). С. 24–51.

15. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л., 1970. 443 с.

16. *Александрян Г.А.* Атмосферные осадки в Армянской ССР. Ереван, 1971. С. 91–106.

17. *Анучин Д.Н.* Воды суши (озера) // Землеведение. 1896. Т. 3. Кн. 2, приложение.

18. *Арнольди Л.В.* Материалы по изучению донной продуктивности озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1929. Т. 2. Вып. 1. С. 72–79.

19. *Асланян А.Т.* К вопросу о происхождении озера Севан // Изв. АН АрмССР. 1947. № 8. С. 39–44.

20. *Бабаян Г.Б.* Баланс азота, фосфора и калия в земледелии Армянской ССР. Ереван, 1980. 192 с.

21. *Бабаян Г.Г., Оганесян Р.О.* Формы миграции некоторых тяжелых металлов в поверхностных водах бассейна озера Севан // Состояние и перспективы развития методологических основ химического и биологического мониторинга поверхностных вод суши: тез. докл. XXIX Всесоюз. гидрохимич. совещ. Ростов н/Д., 1987. Т. 3. С. 22–23.

22. *Бабаян Г.Г., Оганесян Р.О., Набиванец Б.И., Калабина Л.В.* Задачи и перспективы изучения микроэлементов в озере Севан и его притоках // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 13–14.

23. *Бабаян Ж.К.* Микробиологические процессы круговорота азота в озере Севан: автореф. дис. … канд. биол. наук. Борок, 1984. 25 с.

24. *Бабаян Ж.К.* Динамика численности азотфиксирующих цианобактерий в озере Севан // Круговорот веществ и энергии в водоемах: тез. докл. VI Всесоюз. совещ. лимнологов. Иркутск, 1985. Вып. 11. С. 12.

25. *Бабаян Ж.К., Казарян Т.М., Саралов А.И.* Сезонная динамика соединений азота в озере Севан в 1982 г. // Лимнологические и ихтиологические исследования озера Севан (Тр. Севанской гидробиол. ст. Т. 20). Ереван, 1985. С. 78–89.

26. *Бабаян Ж.К., Пашкаускас Р.А., Саралов А.И.* Фиксация молекулярного азота в озере Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 15–16.

27. *Багдасарян А.Б.* Климат Армянской ССР. Ереван, 1958. 139 с.

28. *Баграмян Г.А.* Повышение эффективности комплексного использования водных ресурсов Армянской ССР. Ереван, 1973. С. 171–197.

29. *Банин А.П.* Эффективность мероприятий по охране природных ресурсов. М., 1977. С. 113.

30. *Бек-Мармарчев Б.И.* Многолетняя кривая колебаний уровня озера Севан // Изв. АН АрмССР. Ереван, 1951. Т. 4. № 1.

31. *Бек-Мармарчев Б.И.* Русловые процессы на реках Севанского бассейна // В кн.: Результаты комплексных исследований по севанской проблеме. Ереван, 1962. Т. 2. С. 9–11.

32. *Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л., 1985. 528 с.

33. Бояхчян С.Ш. Содержание азота в сестоне озера Севан // Лимнологические и ихтиологические исследования озера Севан. (Тр. Севанской гидробиол. ст. Т. 20). Ереван, 1985. С. 55–64.

34. *Брагинский Л.П.* Пестициды и жизнь водоемов. Киев, 1972. 236 с.

35. *Брагинский Л.П., Комаровский Ф.Я., Мережко А.И.* Персистентные пестициды в экологии пресных вод. Киев, 1979. 144 с.

36. *Бродский К.А.* Горный поток Тянь-Шаня. Эколого-фаунистический очерк. Л., 1976. 244 с.

37. *Буданов М.Ф.* Атлас сельского хозяйства Армянской ССР. Ереван, 1984. 178 с.

38. *Булаев В.Е., Булаева В.Г.* Миграция азота и фосфора в почве очагов удобрений // Химия в сельском хозяйстве. 1977. № 9. С. 71–75.

39. *Бульон В.В.* Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л., 1983. 150 с.

40. *Бульон В.В., Винберг Г.Г.* Соотношение между первичной продукцией и рыбопродуктивностью водоемов // В кн.: Основы изучения пресноводных экосистем. Л., 1981. С. 5–10.

41. *Буров В.С.* Исследование выноса минеральных удобрений с сельскохозяйственных угодий склоновым стоком // Тр. ГГИ. 1971. Вып. 198. С. 176–196.

42. *Былинкина А.А., Петухова Л.А.* Поступление соединений фосфора в Рыбинское водохранилище с местным стоком и сточными водами // Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР. 1971. Вып. 20 (23). С. 35–42.

43. *Валесян В.П.* Исследование стока горных рек Армянской ССР. М., 1955. 180 с.

44. *Варданян Г.С.* Численность гетеротрофных бактерий дрожжей, мицелиальных грибов в основных притоках озера Севан // В кн.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984а. С. 35–36.

45. *Варданян Г.С.* Распределение численности гетеротрофных бактерий в озере Севан в 1982–1983 гг. // В кн.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984б. С. 33–34.

46. *Варданян Т.Т., Дарбинян О.А., Мхоян Л.П., Мхитарян Л.П.* Поступление минерального азота и фосфора в озеро Севан с водами его притоков и атмосферными осадками // Биологический журнал Армении. 1984. Т. 37. № 7. С. 564–568.

47. *Варданянц Л.А.* О происхождении озера Севан / Ин-т геол. наук. Ереван, 1948. 28 с.

48. *Винберг Г.Г.* Первичная продукция водоемов. Минск, 1960. 329 с.

49. *Винберг Г.Г.* Основные направления в изучении биотического баланса озер // В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. М., 1967. С. 132–147.

50. *Винберг Г.Г.* Исследования биологического баланса энергии и биологической продуктивности озер в Советском Союзе // Экология. 1972. № 4. С. 5–18.

51. *Винберг Г.Г.* Эвтрофирование и охрана вод // Гидробиол. журн. 1974. Т. 10. № 3. С. 129–134.

52. *Винберг Г.Г.* Эвтрофирование озер и первые итоги гидробиологических исследований на р. Тюп и Тюпском заливе оз. Иссык-Куль // В кн.: Гидробиологические исследования на р. Тюп и Тюпском заливе оз. Иссык-Куль. Л., 1977. С. 132–139.

53. *Владимиров В.И.* Севанская храмуля *Varicorhinus capoeta sevangi* (Filippi) // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1939. Т. 7. С. 57–138.

54. *Владимирова К.С.* Зеленые и синезеленые водоросли Еленовской бухты озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1939. Т. 7. С. 1–16.

55. *Владимирова К.С.* Питание севанской храмули // Изв. АН АрмССР. 1947. № 2. С. 53–70.

56. *Воронов П.П.* Поступление азота в почву с атмосферными осадками в различных зонах европейской части СССР // Тр. ГГИ. Сер. Геол. 1963. Вып. 102. С. 42–50.

57. *Врочинский К.К., Маковский В.Н.* Применение пестицидов и охрана окружающей среды. Киев, 1979. 208 с.

58. *Габриелян А.А.* К истории тектонического развития Армении в третичное время // ДАН СССР. 1946. Т. 3. № 2. С. 143–145.

59. *Габриелян А.А.* Севано-Зангезурский глубинный разлом и его геологическое значение // ДАН СССР. 1956. Т. 106. № 3. С. 511–514.

60. *Гамбарян М.Е.* Общая характеристика процессов превращения азота, численность и биомасса бактерий в озере Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1957. Т. 15. С. 5–45.

61. *Гамбарян М.Е.* К физико-химическому режиму и микрофлоре притоков озера Севан // Изв. АН АрмССР. 1961. Сер. Биология. Т. 14. № 9. С. 65–71.

62. *Гамбарян М.Е.* Роль биологических процессов в современном кислородном режиме озера Севан // Известия АН Армянской ССР. 1963. Сер. Биол. науки. Т. XVI. № 9. С. 7–16.

63. *Гамбарян М.Е.* Продукция бактериопланктона и его роль в питании зоопланктона озера Севан // Гидробиол. журн. 1966. Т. 2. № 3. С. 19–25.

64. *Гамбарян М.Е.* Биопродуктивность озера Севан // Природа. 1968а. № 8. С. 89.

65. *Гамбарян М.Е.* Микробиологические исследования озера Севан. Ереван, 1968б. 166 с.

66. *Гамбарян П.П.* Распределение макрофитов озера Севан // В кн.: Экология гидробионтов озера Севан. Ереван, 1979. С. 123–129.

67. *Гамбарян П.П.* Макрофиты озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 55–56.

68. *Гезалян М.Г.* О температурном режиме озера Севан в связи со спуском его уровня // В кн.: Экология гидробионтов озера Севан. Ереван, 1979. С. 5–23.

69. *Гезалян М.Г.* Некоторые гидрофизические характеристики эвтрофированного озера Севан // В кн.: IV съезд Всесоюзного гидробиол. общ-ва. Киев, 1981. Ч. 4. С. 101–102.

70. *Гезалян М.Г.* Динамика гиполимниона озера Севан в связи с понижением его уровня // В кн.: Продукционные процессы в экосистеме озера Севан. Ереван, 1983а. С. 109–119.

71. *Гезалян М.Г.* Некоторые современные гидрофизические характеристики озера Севан // В кн.: Антропогенное эвтрофирование природных вод: тез. докл. на III Всесоюз. симпозиуме. Черноголовка, 1983б. С. 181–182.

72. *Гезалян М.Г.* О проникновении естественного света в толщу озера Севан (по данным 1978 г.) // В кн.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 59–60.

73. Гидрологический ежегодник 1941 г. Т. 3. Бассейны рек Кавказа. Вып. 2–5. Бассейны Черного и Каспийского морей без бассейнов рек Северного Кавказа / под ред. Г.Н Хмаладзе. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1950. 242 с.

74. *Горбунов Н.И.* Минералогия, физическая химия почв. М., 1978. 190 с.

75. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. М., 1977. 17 с.

76. ГОСТ 17.1.5.02-80. Охрана природы. Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов. М., 1985. 6 с.

77. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. М., 1982. 12 с.

78. ГОСТ 25900-83. Вода для орошения юга Украины. Общие требования к составу и свойствам. М., 1983. 10 с.

79. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. М., 1985. 12 с.

80. *Грибовская И.Ф., Каминский В.С.* Поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий // Основы прогнозирования качества поверхностных вод. М., 1982. С. 60–67.

81. *Григорьев С.В.* Опыт гидрологической типологии озер Латвийской ССР // В кн.: Рыбное хозяйство внутренних водоемов Латв. ССР. Рига, 1958. С. 245–248.

82. *Григорьев С.В.* О некоторых определениях и показателях в озероведении // Тр. Карельского филиала АН СССР. 1959. Вып. 18. С. 29–45.

83. *Григорян Дж.Э., Погосян У.Г., Овсепян Т.А.* Гигиенические аспекты антропогенного эвтрофирования высокогорного озера Севан // Антропогенное эвтрофирование природных вод. Черноголовка, 1977. С. 268–273.

84. *Давыдов В.К.* Водный баланс озера Севан // В кн.: Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Л., 1933. Ч. 6.

85. *Давыдов В.К.* Термика озера Севан // В кн.: Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Л., 1934. Ч. 2. Вып. 1. С. 46–47.

86. *Давыдов В.К.* Водный баланс озера Севан // В кн.: Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Л., 1938. Ч. 6.

87. *Дадикян М.Г.* Питание севанских форелей // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1955. Т. 14. С. 5–76.

88. *Дадикян М.Г.* Рыбы Армении. Ереван, 1971. С. 60–143.

89. *Денисова А.И., Нахшина Е.П., Журавлева Л.А., Паламарчук И.К.* Факторы, влияющие на формирование гидрохимического режима Днепра, и его эвтрофикация в условиях зарегулированного стока // В кн.: Антропогенное эвтрофирование водоемов. Черноголовка, 1974. С. 39–44.

90. *Драчев С.М.* Борьба с загрязнением рек, озер и водохранилищ промышленными и бытовыми стоками. М.; Л., 1964. С. 131–141.

91. *Егиазаров И.В.* Озеро Гокча и связанные с ним вопросы использования водных сил и орошения двигательными целями // Изв. научно-мелиорационного инта. 1923. № 6.

92. *Жариков В.В.* Эколого-фаунистические исследования инфузорий озера Севан и некоторых других водоемов Армении: автореф. дис. … канд. биол. наук. Л., 1985. 19 с.

93. *Жукинский В.Н., Оксиюк О.П.* Экологическая классификация качества поверхностных вод суши по их составу и свойствам // Информационный бюллетень по водному хозяйству. М., 1984. 2 (34). С. 71–76.

94. *Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Олейник Г.Н., Кошелева С.И.* Проект системы комплексной оценки качества поверхностных пресных вод // Водные ресурсы. 1978. № 3. С. 83–93.

95. *Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Олейник Г.Н., Кошелева С.И.* Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1981. Т. 17. Вып. 2. С. 38–49.

96. *Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Цееб Я.Я., Георгиевский В.Б.* Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества вод // Гидробиол. журн. 1976. Т. 12. № 6. С. 103–106.

97. *Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Цееб Я.Я., Георгиевский В.Б.* Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества вод // В кн.: Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., 1977. С. 91–93.

98. *Завалишин А.А.* Бассейн озера Севан (Гокча). Т. 1: Научные результаты экспедиции 1927 г. Л., 1929. С. 367–427.

99. *Зайков Б.Д.* Гидрологический очерк бассейна озера Севан // Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Л., 1933. Ч. 1. Вып. 3. С. 113–114.

100. *Зайков Б.Д.* Средний сток и его распределение в году на территории Кавказа // Тр. ГУГМС СССР. 1946. Сер. 4. Вып. 40. 64 с.

101. *Зайков Б.Д.* Водный баланс озера Севан // Тр. Водно-энергетического ин-та АН АрмССР. Ереван, 1950. Т. 1. С. 107–131.

102. *Зверев В.П.* Энергетика гидрохимических процессов современного седиментогенеза. М., 1981. 132 с.

103. *Знаменский В.А.* Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды. Л., 1981. 248 с.

104. *Иванищев В.В., Михайлов В.В.* Моделирование экосистемы озера с переменной морфометрией // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 99–100.

105. *Иконников В.Ф., Умнов А.А.* Математическая модель экосистемы озер // В кн.: Экологическая система Нарочанских озер. Минск, 1985. С. 246–263.

106. *Исханов Р.С.* Экономические аспекты воспроизводства природных ресурсов // В кн.: Формирование социально-экономического комплекса бассейна озера Севан. Ереван, 1984. С. 56–71.

107. *Йоргенсен С.Э.* Управление озерными системами. М., 1985. 159 с.

108. *Казарян Э.Х., Навасардян К.О.* Увеличение поступления азота и фосфора в озеро Севан в результате антропогенного воздействия. Ереван, 1980. 172 с.

109. *Каминский В.С.* Методы замедления и устранения процесса эвтрофирования // Водные ресурсы. 1979. № 4. С. 51–63.

110. *Каминский В.С.* Современные проблемы нормирования качества поверхностных вод // Водные ресурсы. 1980. № 3. С. 160–168.

111. *Каминский В.С.* Заключение // В кн.: Основы прогнозирования качества поверхностных вод. М., 1982. С. 162–166.

112. *Карапетян А.И., Капланян П.М., Галстян А.Р., Григорян Л.А., Шагинян Г.В.* Формирование микрокомпонентного состава вод бассейна на озере Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 103–104.

113. *Киреев И.А.* Гидрографические работы на озере Севан // Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Л., 1933. Ч. 5. С. 65–87.

114. *Клименко О.А., Фадеев В.В., Тарасов М.И., Кореновская И.М.* Прогнозирование качества воды рек в условиях антропогенного воздействия // В кн.: Вопросы контроля загрязнения водной среды. Л., 1981. С. 94–98.

115. *Константинов А.С.* Общая гидробиология. М., 1986. 467 с.

116. *Коплан-Дикс И.С., Назаров Г.В., Кузнецов В.Г.* Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши. Л., 1985. 180 с.

117. *Кузин П.С.* Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. Л., 1960. С. 383–392.

118. *Кузнецов С.И.* Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л., 1970. 435 с.

119. *Лаптева Н.А.* Видовой состав и распределение факультативно-олигокарбофильных бактерий в карстовых озерах // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 131–132.

120. *Ласкорин Б.Н., Болотина В.С., Каминский В.С.* Качество и охрана воды в бассейне реки Волги // Водные ресурсы. 1975. № 4. С. 23–45.

121. *Лачинова Р.Л.* Гидрохимическая характеристика озера Севан и его бассейна // Гидрохимические материалы. Л., 1969. Т. 2. С. 26–39.

122. *Лачинова Р.Л.* Гидрохимическая характеристика бассейна р. Аракс // Ресурсы поверхностных вод СССР. М., 1973. Т. 9. Вып. 2. С. 330–375.

123. *Лачинова Р.Л.* Гидрохимия озера Севан и его бассейна. Информационный обзор. Ереван, 1984. 69 с.

124. *Левинсон-Лессинг Ф.Ю.* Предварительные соображения об использовании озера Гокча (Севан) для орошения // Бассейн озера Севан (Гокча). 1929. Т. 1. С. 474–493.

125. *Легович Н.А.* Изменения в качественном составе фитопланктона озера Севан под влиянием понижения его уровня // Биологический журнал Армении. 1968. Т. 21. № 12. С. 31–42.

126. *Легович Н.А.* О цветении воды в озере Севан // В сб.: Экология гидробионтов озера Севан. Ереван, 1979. С. 51–74.

127. *Леонтьев Л.Н.* Основные черты тектоники восточной части Малого Кавказа // Тр. Ин-та геологии АН Азерб. ССР. 1945. Т. 13. С. 167–192.

128. *Леонтьев Л.Н.* Тектоническое строение и история геотектонического развития Малого Кавказа // Бюллютень МОИП. Отдел геологический. 1949. Т. 24. Вып. 4. С. 3–36.

129. *Лещинская А.С.* О биологии размножения форели озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1950. Т. 21. С. 93–176.

130. *Литвинов А.С., Цельмович О.Л.* Водный баланс и водообмен Шекснинского водохранилища и их изменения при территориальном перераспределении стока // Тр. Ин-та биологии внутренних вод. 1982. Вып. 43 (46). С. 9–24.

131. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. М., 1984. 447 с.

132. *Ляйстер А.Ф.* К вопросу о происхождении озера Гокча. Памятная книга Эриванской губернии на 1914 г. // Известия Кавказского отдела Русского географического общества. 1914. Т. 21. № 4. С. 357–368.

133. *Лятти С.Я.* Гидрохимические исследования озера Севан (Гокча) и его притоков // Бюллетень Бюро гидрометеорологических исследований на озере Севан (Гокча). Эривань, 1929. № 7–8. 46 с.

134. *Лятти С.Я.* Материалы гидрохимических исследований // В кн.: Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Л., 1932а. Ч. 2. Вып. 1. 63 с.

135. *Лятти С.Я.* Грунты озера Севан и его бассейна. Тифлис, 1932б. Ч. 4. Вып. 4. 42 с.

136. *Лятти С.Я.* Гидрохимический очерк озера Севан // В кн.: Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Л., 1932в. Ч. 4. Вып. 2. 34 с.

137. *Лятти С.Я.* Поливные качества воды озера Севан и реки Занги // В кн.: Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Эривань, 1933. Ч. 4. Вып. 3. 42 с.

138. *Маилян Р.А.* Сиги озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1957. Т. 15. С. 137–195.

139. *Малинин Л.К., Поддубный А.Г., Оганесян Р.О., Смолей А.И., Юданов К.И.* Плотность и пространственное распределение рыб в озере Севан в период летнего нагула // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 150–151.

140. *Малкин Е.М.* О размножении севанской храмули // Тр. молодых ученых ВНИРО. 1970. Вып. 3. С. 179–192.

141. *Маляревская А.Я.* Обмен веществ у рыб в условиях антропогенного эвтрофирования водоемов. Киев, 1979. 254 с.

142. *Марков Е.С.* Озеро Гокча (географическое описание озера) / Главное упр. земледелия и землеустр. Отд. зем. улучшений. СПб., 1911. Ч. 1. 193 с.

143. *Маркосян А.Г.* Распределение и биомасса харовых водорослей мха в озере Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1951. Т. 12. С. 29–35.

144. *Маркосян А.Г.* Продуктивность бентоса озера Севан // Тр. VI Совещания по проблемам биол. внутр. вод. М.; Л., 1959. С. 67.

145. *Маркосян А.Г.* Некоторые итоги влияния спуска озера Севан на его режим // В кн.: Экология водных организмов. М., 1966. С. 119–123.

146. *Маркосян А.Г.* Популяция *Gammarus lacustris Sars* (Crustacea, Amphipoda) в озере Севан в период понижения его уровня // Биол. журн. Армении. 1974. Т. 27. № 1. С. 28–36.

147. *Мартынова М.В.* О ближайших задачах изучения донных отложений в связи с антропогенным эвтрофированием водоемов // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 158–159.

148. *Матвеева Р.А.* Влияние хозяйственной деятельности на состояние внутренних водоемов. Обзор по отчетам о НИР и диссертациям, поступающим во ВНТИЦентр и открытым публикациям. М., 1983. 145 с.

149. *Мельников Н.Н., Волков А.И., Короткова О.А.* Пестициды и окружающая среда. М., 1977. 240 с.

150. Методы определения вредных веществ в воде водоемов. М., 1981. 375 с.

151. *Мешкова Т.М.* Зоопланктон озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1947. Т. 9. С. 1–69.

152. *Мешкова Т.М.* Зоопланктон озера Севан (биология и продуктивность) // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1953. Т. 13. С. 5–171.

153. *Мешкова Т.М.* Современное состояние планктона в озере Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1962. Т. 16. С. 15–89.

154. *Мешкова Т.М.* О влиянии мономолекулярной пленки из жирных спиртов, применяемой в качестве депрессора испарения, на биологический режим водоемов // Гидробиол. журн. 1966. Т. 2. № 2. С. 3–8.

155. *Мешкова Т.М.* Закономерности развития зоопланктона в озере Севан (в связи с понижением уровня озера). Ереван, 1975. 276 с.

156. *Милановский Е.Е.* Новые данные о строении неогеновых и четвертичных отложений бассейна озера Севан // К вопросу о возрасте и происхождении так называемой «Сарыкаянской толщи» // Изв. АН СССР. 1952. Сер. Геол. № 4. С. 110–119.

157. *Митте М.* Бассейн Гокчинского озера // Горный журнал. 1891. Т. 2. Апрель – июнь.

158. *Михайлов В.В., Решетников Ю.С., Смолей А.И., Иванищев В.В.* Моделирование популяции севанского сига / ЛНИВЦ АН СССР. Л., 1983. 48 с.

159. *Михайлов В.Б., Решетников Ю.С., Смолей А.И., Южакова Г.Г., Пивазян С.А.* Имитационная модель популяции севанского сига *Coregonus lavaretus* (L.) (Salmonidae) // Вопр. ихтиол. 1985. Т. 25. Вып. 3. С. 384–400.

160. *Мнацаканян А.Т.* Изменения видового состава и биомассы фитопланктона озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 172–173.

161. *Мокиевский К.А., Трошков Б.И., Ульянова Д.С., Филиппов О.Г.* Особенности радиационного режима поверхности озера Севан и ослабление солнечной радиации его водами в современном состоянии водоема // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 174–175.

162. *Мхитарян А.М., Александрян Г.А., Атаян Э.А.* Водный баланс озера Севан // В кн.: Результаты комплексных исследований по севанской проблеме. Ереван, 1961. Т. 1. С. 22–191.

163. *Назаров Г.В.* Соотношение выноса биогенных элементов поверхностным грунтовым стоком // В кн.: Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши. Л., 1985. С. 77–97.

164. *Никитин В.М., Новиков Ю.В.* Окружающая среда и человек. М., 1980. 423 с.

165. *Никогосян А.А.* Динамика биомассы зоопланктона в озере Севан в 1974–1976 гг. // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979. Т. 17. С. 107–117.

166. *Никогосян А.А.* Особенности роста и развития *Daphnia longispina sev. eulimnetica*, Behn. и ее продукция в озере Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1983. Т. 18. С. 83–95.

167. *Никогосян А.А.* Изменения в зоопланктоне озера Севан в связи с понижением его уровня: автореф. дис. … канд. биол. наук. М., 1985. 21 с.

168. *Никулина В.Н., Мнацаканян А.Т.* Фитопланктон озера Севан в 1979–1981 гг. // Тр. Севанской гибдробиол. ст. 1984. Т. 19. С. 18–43.

169. *Обручев В.А.* Инструкция для геологического исследования озер (О Гокче) // Инструкция для исследования озер. СПб., 1908. С. 7.

170. *Оганесян Р.О.* Экосистема озера Севан и перспективы ее охраны // Фауна и ее охрана в республиках Закавказья: мат-лы конф. Ереван, 1975. С. 121–124.

171. *Оганесян Р.О.* Гидроэкологические исследования озера Севан и малых горных водоемов Армении // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 204–207.

172. *Оганесян Р.О.* Нарушение взаимодействий в системе «вода – донные отложения» как одна из причин эвтрофирования озера Севан // Изучение взаимодействий в системе «вода – донные отложения»: мат-лы семинара. Ереван, 1987. С. 43–48.

173. *Оганесян Р.О., Бабаян Г.Г.* Тяжелые металлы в поверхностных водах бассейна озера Севан // Биол. журн. Армении. 1987. Т. 40. № 12. С. 1004–1007.

174. *Оганесян Р.О., Варданян Г.С., Гезалян М.Г.* Связь между гетеротрофными бактериями и некоторыми абиотическими и биотическими характеристиками озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1985. Т. 20. С. 5–29.

175. *Оганесян Р.О., Варданян Г.С., Гезалян М.Г., Карапетян А.А., Мурадян В.М.* Гидрофизическая характеристика и численность гетеротрофных бактерий притоков озера Севан // Биол. журн. Армении. 1984. Т. 37. № 10. С. 858–863.

176. *Оганесян Р.О., Варданян Г.С., Гезалян М.Г., Карапетян А.А., Мурадян В.М.* Результаты некоторых гидрофизических, гидрохимических и микробиологических исследований на основных притоках озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1985в. Т. 20. С. 29–41.

177. *Оганесян Р.О., Восканов М.В., Бояхчян С.Ш.* Изменение концентрации ионов Na, K и Ca в плазме и жаберных мембранах летнего бахтака под действием температуры // Мат-лы конф. молодых ученных, посвящ. 60-летию Великой Октябрьской революции. Ереван, 1977б. С. 16.

178. *Оганесян Р.О., Восканов М.В., Бояхчян С.Ш.* Физиологические сдвиги в дыхании и сердечной деятельности севанской форели в условиях повышения температуры // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979. Т. 17. С. 134–143.

179. *Оганесян Р.О., Гезалян М.Г.* Об удельной электропроводности водных масс озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 208–209.

180. *Оганесян Р.О., Джентереджян К.Г.* Влияние ультрафиолетового облучения на развитие зародышей севанских рыб // Тез. докл. IV съезда Всесоюз. гидробиол. общ-ва. Киев, 1981. С. 125–126.

181. *Оганесян Р.О., Казарян И.А.* Сукцессия фитопланктонного сообщества в различные периоды спуска уровня вод озера Севан // Тез. докл. I съезда гидробиологов Молдавии. Кишинев, 1986. С. 105–106.

182. *Оганесян Р.О., Островский И.С., Овсепян А.К.* Влияние разных концентраций ионов меди, цинка и кобальта на выживаемость бокоплавов *Gammarus lacustris* // Биол. журн. Армении. 1988. Т. 41. № 5.

183. *Оганесян Р.О., Парпаров А.С.* Экологические аспекты севанской проблемы // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1983. Т. 18. С. 5–13.

184. *Оганесян Р.О., Парпаров А.С.* Изменение морфометрии озер как эвтрофирующий фактор // Тез. докл. I съезда гидробиологов Молдавии. Кишинев, 1986а. С. 106–107.

185. *Оганесян Р.О., Парпаров А.С.* О возможности управления ресурсами озера Севан // Тез. докл. V съезда Всесоюзного гидробиол. общ-ва. Тольятти, 1986б. Ч. 2. С. 273–275.

186. *Оганесян Р.О., Парпаров А.С.* Некоторые итоги изучения гидробиологического режима озера Севан // В сб.: Природа, город, человек. Ереван, 1987. С. 135–137.

187. *Оганесян Р.О., Парпаров А.С., Парпарова Р.М.* Пространственно-временная структура гидрохимических полей озера Севан // Состояние и перспективы развития методологических основ химического и биологического мониторинга поверхностных вод суши: тез. докл. XXIX Всесоюз. гидрохимич. совещ. Ростов н/Д., 1987. Т. 1. С. 248–249.

188. *Оганесян Р.О., Парпаров А.С., Симонян А.А.* Биолимнологические аспекты севанской проблемы // Биол. журн. Армении. 1977а. Т. 30. № 10. С. 101–106.

189. *Оганесян Р.О., Парпаров А.С., Тифенбах О.И.* Влияние соединений серебра и меди на процессы продуцирования и деструкции органического вещества в озере Севан // Экспериментальная водная токсикология. Рига, 1986. Вып. II. С. 82–86.

190. *Оганесян Р.О., Парпарова Р.М.* Поступление биогенных элементов с водосборного бассейна в озеро Севан // В сб.: Природа, город, человек. Ереван, 1987. С. 138–139.

191. *Оганесян Р.О., Парпарова Р.М., Казарян Т.М., Варданян Э.Г., Андреасян Ж.А.* Гидрохимические особенности притоков озера Севан // Биол. журн. Армении. 1985б. Т. 38. № 6. С. 499–503.

192. *Оганесян Р.О., Пивазян С.А., Южакова Г.Г., Бадалян Н.С.* Распределение сигов озера Севан в новых экологических условиях // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1983. Т. 18. С. 144–153.

193. *Оганесян Р.О., Симонян А.А., Парпаров А.С., Смолей А.И., Гезалян М.Г.* Особенности прогнозирования ресурсов озера Севан // В сб.: Проблемы исследования крупных озер СССР. Л., 1985а. С. 220–224.

194. *Оганесян Р.О., Смолей А.И. Карась в озере Севан* // Биол. журн. Армении. 1985. Т. 38. № 8. С. 725–726.

195. *Оганесян Р.О., Ушканова Е.В.* Модель трофического состояния озера Севан. Имитационные эксперименты // Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования: тез. докл. областной XI школы-семинара. Ростов н/Д., 1987. С. 148–149.

196. *Одум Ю.* Основы экологии. М., 1975. 740 с.

197. *Оксиюк О.П., Жукинский В.Н.* Методические приемы использования эколого-санитарной классификации поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1983. Т. 19. № 5. С. 63–67.

198. *Орлов Г.И.* Осадки в бассейне озера Севан и прилегающих районах // Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. 1935. Ч. 2. Вып. 2. С. 74.

199. *Орлова А.П., Ярошенко Л.В.* К вопросу о загрязнении водных источников коллекторно-дренажными стоками с хлопковых полей // Тез. сообщ. Всесоюз. науч.-технич. совещ. Харьков, 1973.

200. *Островский И.С.* Изменения в батиметрическом распределении крупных систематических групп зообентоса в связи с понижением уровня озера Севан // Биол. журн. Армении. 1980. Т. 33. № 3. С. 330–333.

201. *Островский И.С.* Изменения в зообентосе, связанные с понижением уровня и эвтрофированием озера Севан // В кн.: Антропогенное эвтрофирование природных вод. Черноголовка, 1983а. С. 183–184.

202. *Островский И.С.* Продукция массовых видов зообентоса и их роль в экосистеме озера Севан: автореф. дис. … канд. биол. наук. Л., 1983б. 24 с.

203. *Островский И.С.* Зависимость биомассы зообентоса от первичной продукции озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 216–218.

204. *Островский И.С.* Зообентос озера Севан и его динамика // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1985. Т. 20. С. 132–187.

205. *Островский И.С., Манукян Г.М.* Изменение продуктивности сообщества донных животных в процессе снижения уровня трофии озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 219–220.

206. *Островский И.С., Парпаров А.С.* Изменение энергетического баланса сообщества животных макробентоса на глубинах 0–20 м и в процессе снижения продуктивности озера Севан (1978–1983 гг.) // В кн.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. Иркутск, 1985. С. 42–43.

207. *Павлов П.И.* Основные озерные нерестилища и влияние спуска озера Севан на запасы форелей // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1947а. Т. 9. С. 179–219.

208. *Павлов П.И.* Результаты интродукции сига в озеро Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1947б. Т. 8. С. 113–114.

209. Памятная книга Эриванской губернии. Тифлис, 1902. 71 с.

210. *Парпаров А.С.* Первичная продукция и содержание хлорофилла «а» в фитопланктоне озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979а. Т. 17. С. 88–99.

211. *Парпаров А.С.* Изменение первичной продукции планктона озера Севан различными методами // Биол. журн. Армении. 1979б. Т. 32. № 3. С. 233–236.

212. *Парпаров А.С.* Первичная продукция планктона озера Севан: автореф. дис. … канд. биол. наук. Минск, 1979в. 22 с.

213. *Парпаров А.С.* Некоторые итоги изучения первичной продукции планктона озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1983. Т. 18. С. 14–50.

214. *Парпаров А.С.* Некоторые тенденции изменения продукционно-деструкционных характеристик озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 227–228.

215. *Парпаров А.С., Бояхчян С.Ш.* Опыт использования метода биологических испытаний для изучения экосистемы озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 229–230.

216. *Парпарова Р.М.* Гидрохимический режим озера Севан по данным 1976 г. // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979. Т. 17. С. 38–50.

217. *Парпарова Р.М.* Особенности круговорота фосфора в озере Севан на фоне изменений его гидрохимического режима в связи с антропогенным воздействием: автореф. дис. … канд. биол. наук. Ростов н/Д., 1985. 24 с.

218. *Парпарова Р.М., Парпаров А.С.* Некоторые особенности биогенного питания фитопланктона озера Севан по данным 1975–1976 гг. // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979. Т. 17. С. 100–106.

219. *Парпарова Р.М., Парпаров А.С.* О роли фосфора в экосистеме озера Севан // В кн.: Антропогенное эвтрофирование природных вод: тез. докл. на III Всесоюз. симпозиуме. Черноголовка, 1983. С. 178–180.

220. *Пастухова Е.В., Оганесян Р.О., Михайлов В.В., Флегонтов А.В.* Влияние антропогенных факторов на трофический статус озера Севан // Круговорот вещества и энергии в водоемах: мат-лы докл. к VI Всесоюз. лимнологич. совещ. Иркутск, 1985. Вып. 1. С. 117–118.

221. *Пастухова Е.В., Оганесян Р.О., Флегонтов А.В.* Влияние уровня и характера антропогенного освоения водосбора озера Севан на его трофический статус в послеспусковой период // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 235–236.

222. *Паффенгольц К.Н.* О происхождении озера Севан (Армения), Ван (Анатолия) и Урмид (Иран) // Известия АН СССР. Сер. геологическая. 1950. № 1. С. 125–137.

223. *Пивазян С.А.* Питание и пищевые взаимоотношения форели и сига озера Севан // Вопр. ихтиол. 1972. Т. 12. Вып. 6 (77). С. 1086–1093.

224. *Пивазян С.А.* Суточный ритм питания форели и сига озера Севан // Биол. журн. Армении. 1977. Т. 30. № 6. С. 67–70.

225. *Пивазян С.А.* К изучению питания лососевых рыб озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979. Т. 17. С. 153–161.

226. *Пивазян С.А.* Питание и пищевые взаимоотношения форелей и сига озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. Ереван, 1984. Т. 19. С. 151–153.

227. *Пивазян С.А., Смолей А.И.* Особенности питания рыб озера Севан в условиях снижения его трофности // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 241–242.

228. *Пивазян С.А., Смолей А.И., Южакова Г.Г.* Трофические связи рыб озера Севан в условиях изменившегося режима водоема // В сб.: Круговорот вещества и энергии в озерах и водохранилищах. 2. Лиственничное-на-Байкале, 1973. С. 91–92.

229. *Поддубный А.Г., Малинин Л.К., Терещенко В.Г.* О точности оценки абсолютной численности рыб во внутренних водоемах // В сб.: Оценка погрешностей методов гидробиол. и ихтиол. исслед. Рыбинск, 1982. С. 75–83.

230. *Покровская Т.Н., Миронова Н.Я., Шилькрот Г.С.* Макрофитные озера и их эвтрофирование. М., 1983. 153 с.

231. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. М., 1975. 38 с.

232. *Пустаи А., Казо Б., Матэ Ф.* Влияние некоторых минеральных удобрений на изменение физических свойств почвы и на вынос элементов поверхностным

стоком // VIII Междунар. конгресс по минеральным удобрениям (докл. зарубежных участников). М., 1976. Т. 2. С. 44–53.

233. Разработка методов прогнозирования качества воды водных объектов при сбросе в них сточных вод. М., 1979. 200 с.

234. *Расплетина Г.Ф.* Гидрохимический режим Ладожского озера и его изменение под влиянием антропогенного воздействия // В сб.: Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Л., 1982. С. 79–101.

235. *Расплетина Г.Ф., Гусаков Б.Л.* Применение прямого и косвенного методов для расчета биогенной нагрузки и концентрации веществ в воде Ладожского озера // В сб.: Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Л., 1982. С. 222–242.

236. *Резников С.А.* Биогенные элементы в донных осадках озера Севан // Экспериментальные полевые исследования гидробионтов озера Севан. Ереван, 1984. С. 5–17.

237. Результаты комплексных исследований по севанской проблеме. В 3 т. Ереван, 1961.

238. *Решетников Ю.А.* Экология и систематика сиговых рыб. М., 1980. 736 с.

239. *Родина А.Г.* Методы водной микробиологии. Практическое руководство. М.; Л., 1965. 363 с.

240. *Романенко В.И.* Микробиологические показатели качества воды // Водные ресурсы. 1979. № 6. С. 138–153.

241. *Россолимо Л.Л.* Температурный режим озера Байкал // Тр. Байкальской лимнол. ст. АН СССР. М., 1957. Т. 16. С. 531.

242. *Россолимо Л.Л.* Теоретические основы освоения озерных ресурсов // В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. М., 1967. С. 5–13.

243. *Россолимо Л.Л.* Антропогенное эвтрофирование водоемов // В кн.: Общая экология, биоценология и гидробиология. М., 1975. Т. 2. С. 8–60.

244. *Россолимо Л.Л.* Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М., 1977. 143 с.

245. *Рубенян А.Р.* К оценке естественного воспроизводства севанского сига // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 257–258.

246. *Рубин А.Б., Оганесян Р.О., Венедиктов П.С., Погосян С.И., Маторин Д.Н.* Биофизические подходы к исследованию водных экосистем // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 259–260.

247. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л., 1977. 541 с.

248. *Румянцев В.Б.* Оптическая структура озера Севан (итоги полевых исследований 1981–1982 гг.). Отчет о научно-исследовательской работе. Л., 1983.

249. *Рыжков Л.П.* Динамика соединений азота в озере Севан // Биол. журн. Армении. 1965. Т. 19. № 3. С. 78–85.

250. *Рянжин С.В.* Об эволюции гидрометеорологического режима озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 268–269.

251. *Саркисян С.Г.* Петрографо-минералогические исследования бассейна озера Севан. Ереван, 1962. С. 129–144.

252. *Саркисян А.С., Торгомян Г.М.* Расчет уровенной поверхности и функции полных потоков для озера Севан // Изв. АН АрмССР. 1974. Т. 27. № 6. С. 23–28.

253. *Селютин В.В.* Математическое моделирование структуры и кинетики озерного биотического круговорота: автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук. М., 1986. 21 с.

254. *Серьян С.Е.* Испаряющиеся миллиарды и инертность русского капитала. СПб., 1910. 43 с.

255. *Симонян А.А.* Влияние эвтрофирования на сообщество зоопланктона озера Севан // Тез. докл. на IV съезде ВГБО. Киев, 1981. С. 151–152.

256. *Симонян А.А.* Продукция массовых видов копепод и коловраток Малого Севана // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1983. Т. 18. С. 51–82.

257. *Симонян А.А.* Закономерности количественного развития системы фито-зоопланктона озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 297–298.

258. *Слободчиков Б.Я.* Гидрохимический режим озера Севан по данным 1947–1948 гг. // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1951. Т. 12. С. 5–27.

259. *Слободчиков Б.Я.* Проблема азота в озере Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1955. Т. 14. С. 183–195.

260. *Слободчиков Б.Я., Стройкина В.Г.* Влияние азота, фосфора и железа на развитие фитопланктона в озере Севан // Изв. АН АрмССР. 1953. Сер. биол. Т. 6. Вып. 7. С. 3–18.

261. *Смолей А.И.* Влияние спуска озера Севан на состояние запасов форелей // Тр. совещ. Ихтиол. ком. АН СССР. 1961. Вып. 13. С. 480–486.

262. *Смолей А.И.* О питании сигов озера Севан // Изв. АН СССР. 1964. Т. 17. Вып. 6. С. 49–58.

263. *Смолей А.И.* Биология и запасы форелей в условиях понижения уровня озера Севан: автореф. дис. … канд. биол. наук. Ереван, 1968а. 21 с.

264. *Смолей А.И.* О структуре популяции севанских форелей перед стабилизацией уровня озера // Биол. журн. Армении. 1968б. Т. 21. Вып. 6. С. 46–52.

265. *Смолей А.И.* Биология и запасы севанских форелей в условиях изменившегося режима озера // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979. Т. 17. С. 182–211.

266. *Смолей А.И.* Динамика численности лососевых рыб озера Севан в условиях изменения его режима // В сб.: Лососевые рыбы. Л., 1980. С. 112–120.

267. *Смолей А.И.* Биологические аспекты проблемы увеличения численности севанской форели // В сб.: Динамика численности промысловых рыб. М., 1986. С. 160–166.

268. *Смолей А.И., Пивазян С.А.* Состояние запасов храмули озера Севан перед стабилизацией его уровня (1970–1977) // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1983. Т. 18. С. 120–143.

269. *Смолей А.И., Пивазян С.А., Южакова Г.Г.* Состояние рыбных запасов в период понижения уровня озера Севан и перспективы их использования // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1985. Т. 20. С. 199–244.

270. *Смолей А.И., Южакова Г.Г.* Материалы по состоянию запасов лососевых рыб озера Севан в 1971–1975 // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979. Т. 17. С. 212–220.

271. *Стравинская Е.А., Парпарова Р.М., Боячян С.Ш., Парпаров А.С.* Соотношение между процессами осаждения и диффузии азота и фосфора из донных отложений озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 301–302.

272. *Стройкина В.Г.* Фитопланктон пелагиали озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1953. Т. 13. С. 171–213.

273. *Сущеня Л.М.* Основные направления и перспективы гидробиологических исследований // В кн.: Итоги и перспективы гидробиологических исследований в Белоруссии. Минск, 1983. С. 6–11.

274. *Сущеня Л.М.* Советская гидробиология к 70-летию Великого Октября: новые требования и задачи // Гидробиол. журн. 1987. Т. 23. С. 3–6.

275. *Тарасов М.Н., Демченко А.С., Смирнов М.П., Крючков И.А.* Миграция биогенных веществ на водосборах и оценка их выноса реками // В сб.: Антропогенное эвтрофирование природных вод: мат-лы III Всесоюз. симпоз. М., 1983. С. 19–20.

276. *Тезикова Н.Б., Матвеев А.А., Шахмурадова А.О., Караваева Е.Я.* Характеристика современного состояния загрязненности воды рек бассейна озера Севан // Мат-лы 27-го Всесоюз. гидрохим. совещ. Ростов н/Д., 1984. С. 65–67.

277. *Телитченко М.М.* Токсические метаболиты некоторых массовых гидробионтов и их констатация // В кн.: Летучие биологически активные соединения биогенного происхождения. М., 1971. С. 28–32.

278. *Телитченко М.М., Телитченко Л.А.* Проблема качества воды и современные методические возможности для ее решения // В кн.: Теория и практика биологического самоочищения загрязненных вод. М., 1972. С. 215–221.

279. *Тигранян Э.А.* О нерестилищах сигов озера Севан // Изв. АН АрмССР. 1965. Сер. биол. наук. Т. 18. № 4. С. 78–81.

280. *Тихий М.И.* Использование вод и рыболовство Севана // Бассейн озера Севан (Гокча). Л., 1929. Т. 1. С. 467–474.

281. *Тихий М.А.* Материалы о питании молоди форели Севанского озера // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1938. Т. 5. С. 9–21.

282. *Тихомиров А.И.* Температурный режим и запасы тепла Ладожского озера // В кн.: Тепловой режим Ладожского озера. Л., 1968. С. 144–217.

283. *Тифенбах О.И.* Численность бактерий и продукция их биомассы в воде озера Севан // Микробиол. 1982. Т. 51. Вып. 4. С. 664–668.

284. *Тифенбах О.И.* Бактериальная флора и продукция ее биомассы в условиях современного гидробиологического режима озера Севан: автореф. дис. … канд. биол. наук. Минск, 1983. 22 с.

285. *Тифенбах О.И.* Численность бактерий в воде и донных отложениях озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1984а. Т. 19. С. 44–68.

286. *Тифенбах О.И.* Численность бактериопланктона в озере Севан в 1976–1983 гг. // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984б. С. 309–310.

287. *Тифенбах О.И.* Сапрофитные и олигокарбофильные бактерии в воде озера Севан и соотношение их с общей численностью // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1984в. Т. 19. С. 69–78.

288. *Тифенбах О.И.* Интенсивность микробиологических процессов в воде озера Севан // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1985. Т. 20. С. 90–111.

289. *Тифенбах О.И., Парпаров А.С.* Соотношение между активностью бактерий и продукционно-деструкционными процессами в воде озера Севан // Тез. докл. V съезда Всесоюз. гидробиол. общ-ва. Куйбышев, 1986. Ч. 1. С. 216–217.

290. *Торгомян Г.М.* Течения озера Севан // Изв. АН АрмССР. 1975. Т. 28. № 3. С. 45–50.

291. *Умнов А.А.* Математическая модель озера Мястро // В кн.: Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Минск, 1973. С. 95–109.

292. *Умнов А.А.* Балансовая модель биотического круговорота вещества в экосистеме озера Щучьего // В кн.: Исследование взаимосвязи кормовой базы и рыбопродуктивности. Л., 1986. С. 194–203.

293. *Унанянц Т.П.* Словарь-справочник по удобрениям. М., 1972. 271 с.

294. *Фальковская Л.Н.* Основные виды антропогенной нагрузки на водные объекты // В сб.: Основы прогнозирования качества поверхностных вод. М., 1982. С. 22–23.

295. *Фальковская Л.Н., Каминский В.С., Пааль Л.Л., Грибовская И.* Основы прогнозирования качества поверхностных вод. М., 1982. 180 с.

296. *Фальковская Л.Н., Кутырин И.М.* О поступлении биогенных элементов в водоемы // Водные ресурсы. 1977. № 4. С. 35–47.

297. *Фортунатов М.А.* Рыбы и рыболовство Севанского озера // Изв. отд. прикладной ихтиол. и научн.-пром. исслед. 1926. Т. 5. Вып. 2. С. 240–246.

298. *Фортунатов М.А.* К вопросу о заселении Севанского озера ладожским и чудским сигами. [Рукопись]. 1927а. (Ғрхив СГБС).

299. *Фортунатов М.А.* Форели севанского озера // Тр. Севанской озерной ст. наркомзема Армении. Ереван, 1927б. Т. 1. Вып. 2. С. 135.

300. *Фортунатов М.А., Инясевский А.Н.* К вопросу о вертикальном распределении температур в Севанском озере 1927 г. Ереван: Изд-во ун-та, 1927. № 2–3. С. 53.

301. *Чехин Л.П.* Трансформация солнечной энергии в водах озера Севан // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 331–332.

302. *Чикова В.М.* Состояние запасов храмули в озере Севан в 1956–1958 гг. // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1962. Т. 16. С. 115–124.

303. *Шаронов И.В.* Искусственное воспроизводство запасов севанских форелей // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1962. Т. 16. С. 125–168.

304. *Шилькрот Г.С.* Изменение химизма природных вод культурных ландшафтов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1973. № 3. С. 42–50.

305. *Шилькрот Г.С.* Причины антропогенного эвтрофирования водоемов // В кн.: Общая экология. Биоценология. Гидробиология. М., 1975а. Т. 2. С. 61–69.

306. *Шилькрот Г.С.* Роль культурных почв в поступлении в озеро биогенных веществ // В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975б. С. 180–184.

307. *Шилькрот Г.С.* Типологические изменения режима озер в условиях культурных ландшафтов. М., 1979. 166 с.

308. *Южакова Г.Г.* О состоянии запасов севанских сигов в 1961–1970 гг. // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1979. Т. 17. С. 74–79.

309. *Южакова Г.Г.* Рост и половое созревание севанского сига // Тр. Севанской гидробиол. ст. 1985. Т. 20. С. 188–198.

310. *Южакова Г.Г., Островский И.С., Симонян А.А.* Состояние популяции севанского сига в связи со снижением его кормовой базы (1975–1983) // В сб.: Лимнология горных водоемов. Ереван, 1984. С. 349–351.

311. *Южакова Г.Г., Снетков М.А.* Оценка численности севанской популяции сига // Биол. журн. Армении. 1982. Т. 35. № 5. С. 407–410.

312. Анализ промысла сига в озере Севан методами динамического запаса // Вопр. ихтиол. 1983. Т. 23. Вып. 5. С. 858–859.

313. *Ahlgren G.* Response of phytoplankton and primary production to reduced nutrient loading in Lake Norrviken // Verh. Intern. Ver. Limnol. 1978. Vol. 20. P. 840–845.

314. *Ahlgren G.* Response of Lake Norrviken to reduced nutrient loading // Verh. Int ern. Ver. Limnol. 1978. Vol. 20. P. 846–850.

315. *Bauer K.K.* A generalization of the lake stability concept // Verh. Intern. Ver. Limnol. 1978. Vol. 20. P. 984–985.

316. *Burns N.N.* Nutrient budgets for Lake Erie // J. Fish. Res. Bd. Can. 1976. Vol. 33. P. 520–536.

317. *Chapra S.C., Sonzogni W.C.* Great Lakes total phosphorus budget for the mid 1970's // J. Water Pollut. Contr. Fed. 1979. Vol. 51. P. 2524–2533.

318. *Charlton M.N.* Hypolimnion oxygen consumption in lakes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1980. Vol. 37. P. 31–39.

319. *Coveney M.F., Cronberg C., Enell M., Larsen K., Olafsson L.* Phytoplankton, zooplankton and bacteria standing crop and production relationships in an eutrophic lake // Oikos. 1977. Vol. 29. P. 5–21.

320. *Edmondson W.T.* The present conduction of Lake Washington // Verh. Intern. Ver. Limnol. 1972. Vol. 18. P. 282–291.

321. *Fee E.J.* A predictive relation between lake morphometry and primary productivity and its use in interpreting whole-lake eutrophication experiments // Limnol. Ocean. 1979. Vol. 24. P. 401–416.

322. *Golterman H.L.* Physiological Limnology. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier, 1975. 489 p.

323. *Hokanson L.* and Jansson M. Principles of Lake Sedimentology. Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer Verl., 1983. P. 315.

324. *Healey F.P., Hendzel L.L.* Physiological indicators on nutrient deficiency in lake phytoplankton // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1980. Vol. 37. P. 442–453.

325. *Herodek S.* Biochemical processes in Lake Balaton // In: Eutrophication of shallow lakes: modelling and management. The Lake Balaton case study. Luxenbourg (Austria), 1983. P. 101–145.

326. *Holt R.T., Timmons I.J.* Assimilation of phosphates in water // J. Agric. and Food Chem. 1970. Vol. 18. No. 5. P. 781–784.

327. *Hutchinson G.E. A Treatise of Limnology.* Vol. 2. Introduction to lake biology and limnoplankton. New York: Wiley, 1967. 1115 p.

328. *Janus L.L., Wollenweider R.A.* Phosphorus residence time in relation to trophic conditions in lakes // Verh. Intern. Ver. Limnol. 1984. Vol. 22. P. 179–184.

329. *Jorgensen S.E., Kamp-Nielsen L., Jorgensen L.A.* Examination of the generality of eutrophication models // Econ. Modelling. 1986. 32. Vol. 2. P. 261–266.

330. *Kerekes I.* The index of lake basin permanence // Int. Rev. Hydrobiol. 1977. Vol. 62. No. 2. P. 291–293.

331. Le Cren E.D., Lowe-McConnell R.H., eds. The functioning of freshwater ecosystems // International Biological Programme. 1980. Vol. 22. 588 p.

332. Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation // Techn. eau et assainissement. 1971. P. 292–299.

333. *Loehr R.C.* Animal waste management problems and guidelines for solution // J. Environ. Quality. 1972. Vol. 1. No. 1. P. 71–78.

334. *Nurnberg G., Peters R.N.* The importance of internal phosphorus load to the eutrophication of lakes with anoxic hypolimnia // Verh. Intern. Ver. Limnol. 1984. Vol. 22. P. 190–194.

335. *Oganessian R.O.* Present state of Lake Sevan (Armenia) // Verh. Intern. Ver. Limnol. 1978. Vol. 20. P. 1103–1104.

336. *Peters R.N.* Availability of atmosphere orthosphosphate // J. Fish. Res. Bd. Can. 1977. Vol. 34. P. 918–924.

337. *Ryding S.O., Forsberg C.* Sediments as a nutrient source in shallow polluted lakes // In: Interactions between sediments and fresh water. Proc. Intern. Symp. Amsterdam, 1977. P. 227–234.

338. *Scheider W., Snyder W.R., Clark B.* Deposition of nutrients and major ions by precipitation in south-central Ontario // Water, Air and Soil Pollut. 1979. Vol. 12. P. 171–185.

339. *Shindler D.W.* Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters // Limnol. Ocean. 1978. Vol. 23. P. 478–486.

340. *Thomas E.A.* The process of eutrophication in Central Europian Lakes // In: Eutrophication: causes, consequences, correctives. Proceedings a Symposium. Washington, D.C., 1965.

341. *Vollenweider R.A.* Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phsophore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. [Rapport de recherche]. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). 1970. 217 p.

342. *Vollenweider R.A.* Input-output models. With special reference to phosphorus loading concept in Limnology // Schweiz. Z. Hydrol. 1975. Bd. 57. No. 1. P. 53–84.

343. *Zivota Popovic.* Eutrofiranje voda i dubrenje // Agroheija. 1985. No. 3. P. 159–166.