

КОМИТЕТ ПО ИЗУЧЕНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОЗЕРА СЕВАН
ПРИ СОВЕТЕ НАРОДНЫХ КОМИССАРОВ ССР АРМЕНИИ

55
Д -

ПРОВЕРЕНО
1954 г.

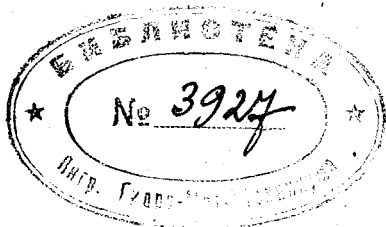
ПРОВЕРЕНО
1930 г.

МАТЕРИАЛЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ОЗЕРА СЕВАН И ЕГО БАССЕЙНА

ЧАСТЬ VI

В. К. ДАВЫДОВ

ВОДНЫЙ БАЛАНС ОЗЕРА СЕВАН



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД

1938

МОСКВА

Г-Л-516

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН

Основные физико-географические черты

Бассейн озера Севан в геоморфологическом отношении принадлежит к двум различным областям Закавказья: северное и восточное побережья генетически относятся к так называемым Крайним горам Армении, вся же остальная и большая часть бассейна входит в состав сложной морфологической области, известной под именем Армянского вулканического нагорья (рис. 1). Граница между этими областями проходит почти вдоль длинной оси озера, деля бассейн на две неравные части. Это различие, как увидим дальше, наложило глубокий отпечаток на целый ряд физико-географических особенностей Севанского бассейна и в частности на его гидрологический режим.

Площадь бассейна Севана составляет 4891 км², а за вычетом зеркала озера — 3475 км². Эта величина отличается от прежних данных (А. Эссена, Е. Маркова) потому, что к ней причислена водосборная площадь высокогорных озер Ала-гель (129 км²), хотя и лишенных поверхностного стока, но имеющих подземный сток в Севанский бассейн.

Средняя высота уровня озера Севан до последнего времени исчислялась в 1925 м.¹ Закавказским геодезическим управлением в 1929 г. была произведена повышенная техническая нивелировка трассы строящейся железной дороги Ереван (Эривань)—Акстафа. К этой нивелировке был привязан основной репер Севанского гидрометеорологического бюро на площадке метстанции в с. Севан (Еленовке) и реперы водомерных постов на озере. Сообщенные производителем работ инж. Полозовым отметки позволили вычислить абсолютную высоту озера.

Нуль глубин, принятый на новейшей батиметрической карте озера и соответствующий наинизшему уровню за время гидрографической съемки 1928—1930 гг., имеет абсолютную отметку 1916,09 м, а упомянутый репер Севанского бюро — 1924,174 м. По той же нивелировке „нуль Маркова“, часто упоминаемый в литературе по Севану, соответствует высоте 1914,43 м. Эта отметка и является нулем графика Еленовского водомерного поста, к которому приведены все данные о колебаниях уровня озера. Вертикальное расчленение бассейна озера представлено ниже и на рис. 2.

Высотные зоны, м	Площадь км ²	%
1916—2000	452	13,0
2000—2200	883	25,4
2200—2400	710	20,4
2400—2600	535	15,4
2600—2800	365	10,5
2800—3000	295	8,5
3000—3200	188	5,4
3200—3400	45	1,3
3400—3600	2	0,1
Сумма 3475		100

¹ Только А. Büdel в заметке о происхождении озера Севан (Petermanns Mitteilungen, 1926, Heft 1—2) указывает высоту 1903 м.

Средняя высота водосборной площади равна 2390 м. Наибольшей высоты достигает центральная часть Ахманганского хребта, который составляет западную границу Севанского бассейна. Здесь отдельные вершины достигают следующей высоты: Кызыл-даг — 3611 м, Боль-

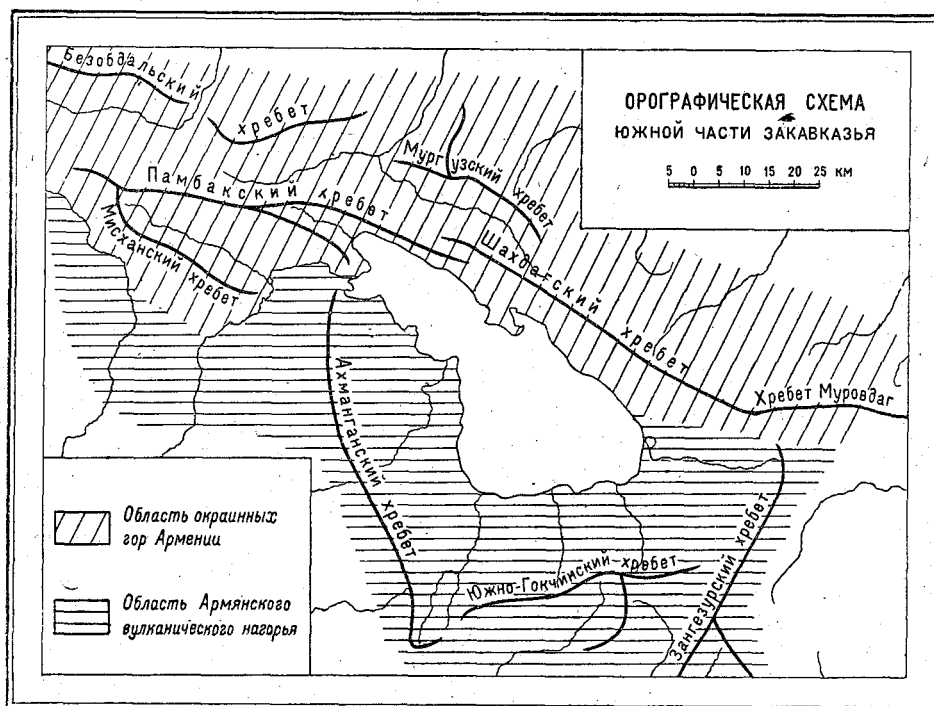


Рис. 1.

шой Ах-даг — 3570 м, Малый Ах-даг — 3454 м (см. приложение I).

Этот район представляет собой высоко поднятое массивное вулканическое плато, залитое лавой, преимущественно андезито-базальтами. Несмотря на сравнительную пологость склонов и редко встречающиеся ущелья, Ахманганское плато обладает исключительно беспокойным микро-

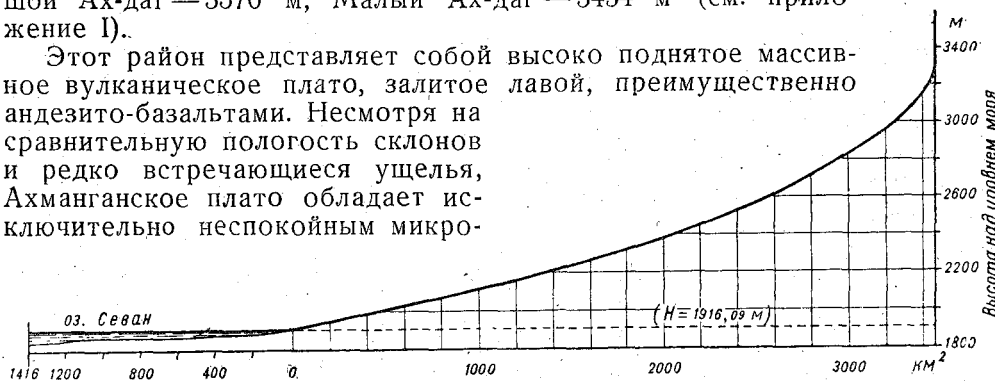


Рис. 2. Гипсографическая кривая бассейна озера Севан.

рельефом: на нем посажен ряд шлаковых конусов, поверхность плато обычно имеет бугристый или глыбовый характер со множеством замкнутых котловинных форм и частыми нагромождениями обломков лавы образующих каменные россыпи („ченгилы“).

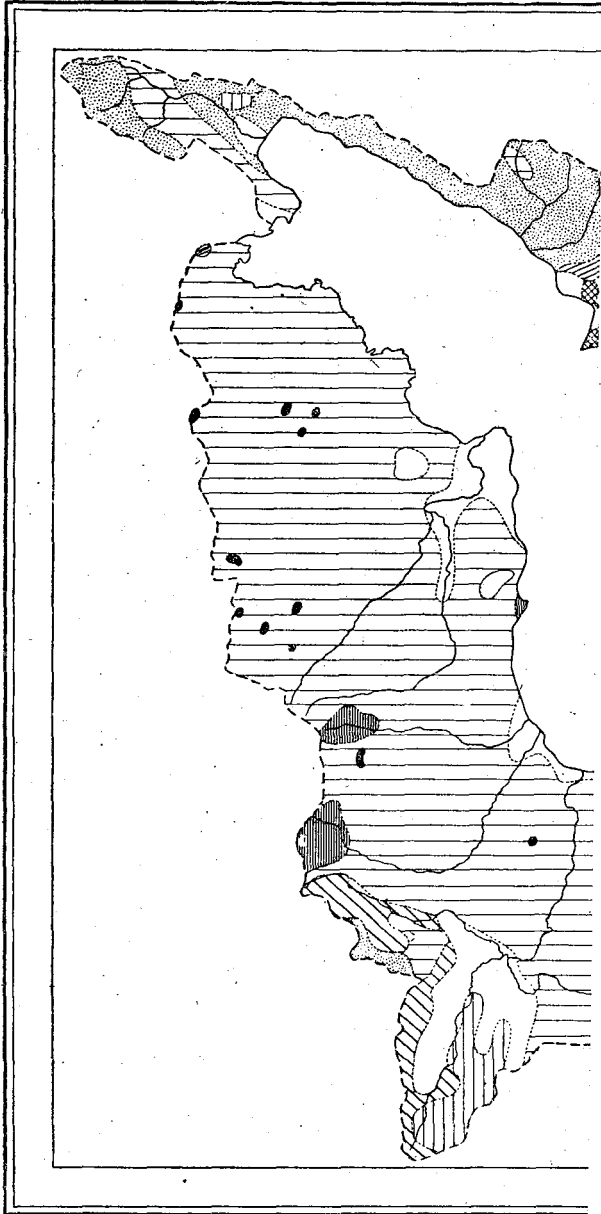
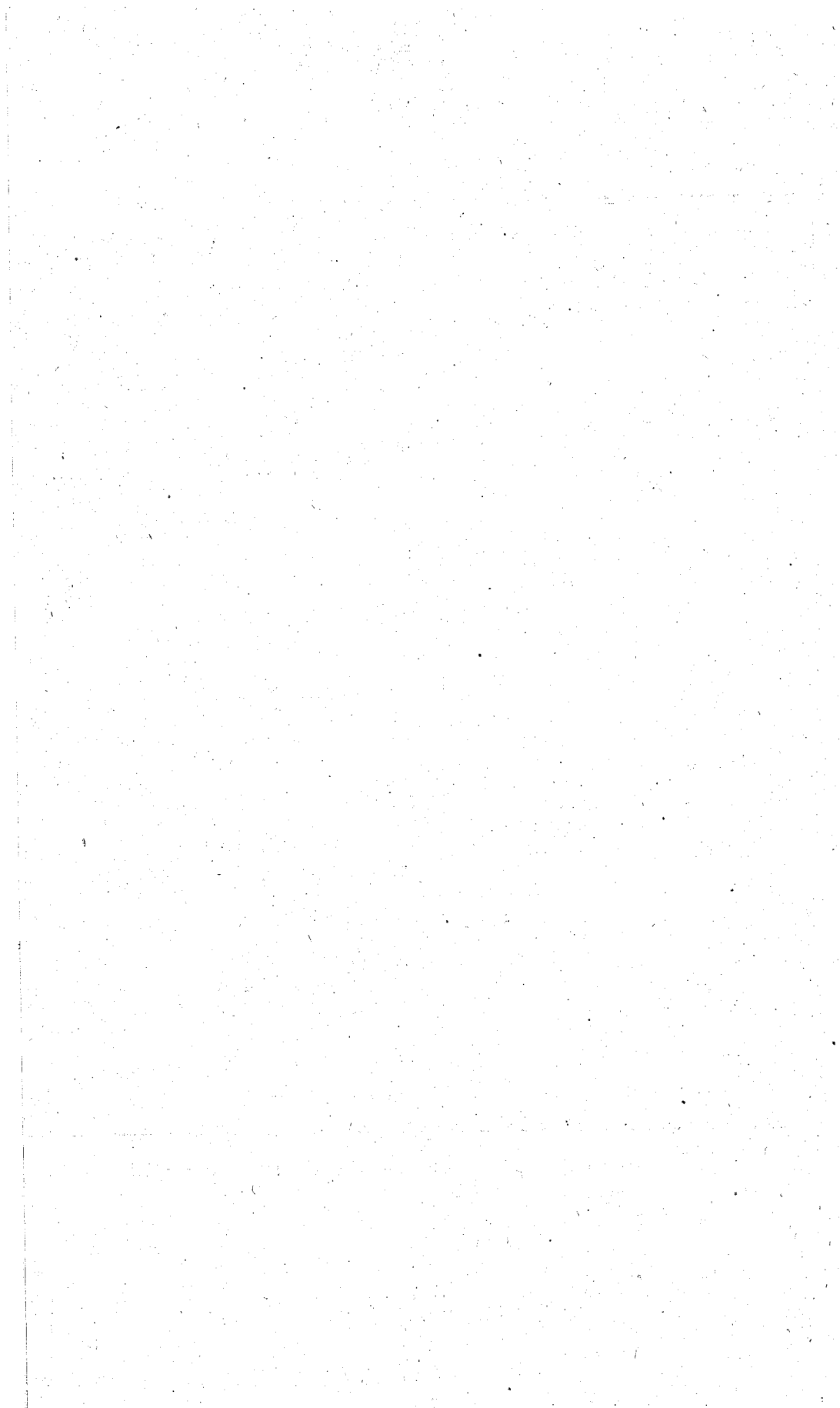


Рис. 3. Схема геолого-петр





Небольшое озеро Канлыгель, у самого водораздела, весной получает сток в долину реки Занги и таким образом в бассейн Севана не входит.

Южный берег образуют склоны Южно-Гокчинского или Гезельдаринского хребта, по абсолютной высоте почти не уступающего Ахманганскому: гора Гезельдара — 3538 м, гора Тулуджа — 3484 м, гора Тик-Пелекен — 3478 м.

Основной орографической особенностью этого района геолог М. П. Казаков¹ считает высокие вулканические вершины и глубокие ущелья долин, начинающиеся почти у самого водораздела. Водораздельные пространства между ними имеют довольно ровную поверхность. Широкая прибрежная терраса покрыта делювиальными образованиями.

К этому району примыкает на востоке замкнутый бассейн двух упомянутых выше озер Алагель. Абсолютная высота их уровня 2733 м, площадь — 6,0 км². На наличие у них подземного стока в бассейн Севана было в свое время указано К. Н. Паффенгольцем.² Специальные исследования Севанского бюро³ это подтвердили, причем выяснилось, что подземный сток идет на питание обильных родников, выходящих в районе сел Басаргечар и Гедак-булаг.

На юго-восточной границе Севанского бассейна берет начало большой Зангезурский хребет, уходящий далеко на юг за пределы бассейна. Этот хребет служит границей распространения лавовых полей. Здесь кончается область Армянского вулканического нагорья.

Мазринская долина отделяет ее от Шахдагского хребта, который ходит уже в состав другой геоморфологической области — Окраинных гор Армении. Этот хребет является лишь одним из звеньев в цепи тектонических складок Малого Кавказа с характерным для них простиранием северо-запада на юго-восток. По своей высоте он уступает предыдущим хребтам, хотя отдельные вершины достигают высоты 3300 м.

По мере продвижения на северо-запад высота хребта уменьшается, он постепенно сужается. В той части, которая известна под именем юнейского („солнечного“) берега и которая связывает Шахдагский хребет с Памбакским, горы вплотную подходят к озеру и круто падают нему.

Касаясь геоморфологических особенностей этого района лишь в той мере, в какой они налагают свой отпечаток на характер водного режима, приводим выдержку из описания геолога С. С. Кузнецова.⁴

„... Отличительными чертами пластики этого района являются особенности, свойственные типичным горным краям: рельеф расчленен, склоны олин, многократно секущих хребет, круты, множество скалистых обнажений, резкие и трудные подъемы, речные долины завалены часто огромными обломками горных пород. Вследствие такой морфологии всякое зобилие дождевой или талой воды вызывает здесь потоки типа селей ломадной энергии, которая способна перемещать большие массы крупного обломочного материала и производить в такие моменты значительную эрозионную работу“.

Явления эти, добавим мы от себя, не могут вырастать до очень больших размеров лишь потому, что водосборные площади здесь незна-

¹ Гидрогеологический очерк южного берега озера Севан. Сборник. „Бассейн озера Севан“ т. II, в. I, Ак. наук. Лигр., 1930 г.

² К. Н. Паффенгольц. Бассейн оз. Гокча (Севан). Труды Всес. геол.-разв. объединения, вып. 219. 1936 г.

³ А. П. Соколов. Подземный сток воды из озера Севан. Мат. по исслед. оз. Севан его бассейна, ч. I, вып. 4. Эривань, 1934 г.

⁴ О некоторых геоморфологических чертах побережий озера Севан. Изв. Ак. наук ССР. 1930 г.

чительны. Наибольшие из рек этого района имеют бассейн питания всего около 20 км², а в северной части еще меньше.

Вертикальная расчлененность бассейна играет решающую роль в распределении основных гидрологических факторов, особенно осадков и стока. Положение это, известное во всех горных странах, здесь на Севане сказывается особенно выпукло.

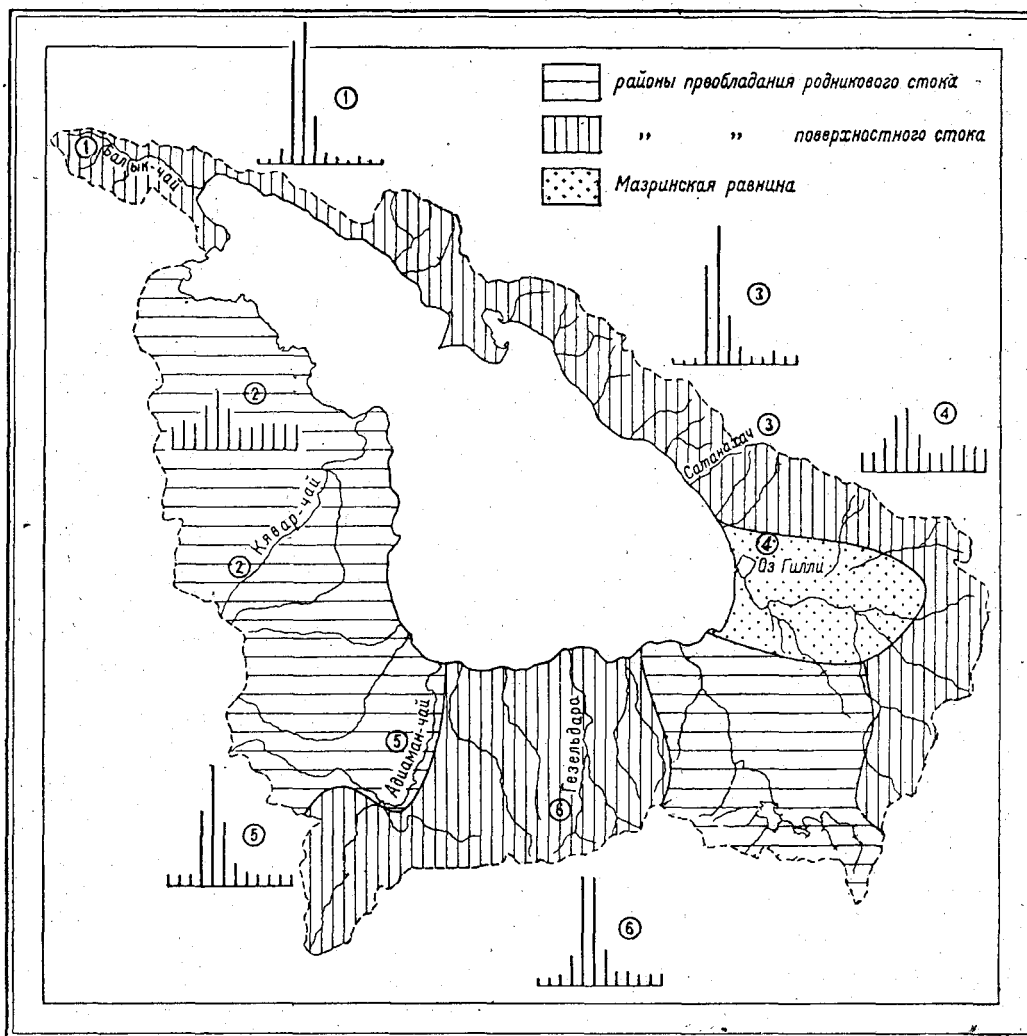


Рис. 4. Схема гидрологических районов бассейна озера Севан. Диаграммы процентного распределения по месяцам годового стока наиболее характерных рек свидетельствуют о различии в характере их питания и степени зарегулированности стока. Вертикальный масштаб диаграмм: 1 мм соответствует 20%.

На целом ряде частных речных бассейнов можно убедиться, что понижение рельефа с поразительной правильностью влечет за собой уменьшение количества выпадающих здесь осадков, вызывает изменения в характере растительного и почвенного покрова и уменьшает удельный сток с этой площади (см. табл. 11, стр. 34).

Но при сравнении модулей стока в горных районах, аналогичных Севану, нельзя исходить лишь из высоты бассейна. Даже одинаковая средняя высота бассейна еще не вполне решает вопрос; приходится считаться с экспозицией главного склона, общей конфигурацией бассейна и прочими факторами. Так, например, реки, сильно разветвленные в своих верховьях, богато питаемых атмосферными осадками, дают больший сток, чем реки с той же водосборной площадью и с той же средней высотой ее, но с иной формой бассейна.¹

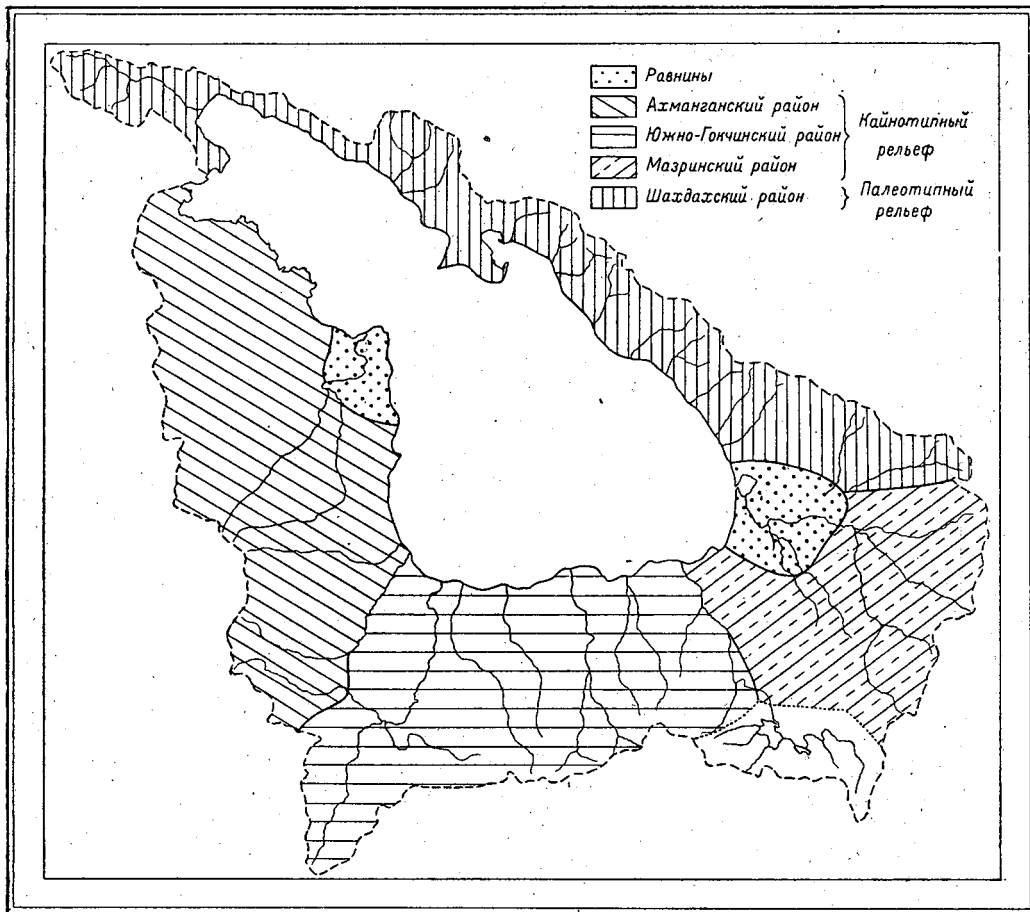


Рис. 5. Схема гидрогеологического районирования бассейна озера Севан (по С. С. Кузнецову).

Закон вертикальной зональности применим к большинству элементов ландшафта. Наряду с этим имеется несколько физико-географических факторов, пространственное распределение которых носит азональный характер. Это относится главным образом к тем элементам ландшафта, которые тесно связаны с геологическими и условиями бассейна.

Сопоставим две схематические карты: геолого-петрографическую (см. рис. 3), составленную А. С. Гинзбергом и С. С. Кузнецовым² по материалам Закавказской экспедиции Академии наук (1927—1930 гг.), с картой гидроло-

¹ Этим, очевидно, следует объяснить сильно повышенный модуль стока р. Гезельдары сравнительно с соседними участками Южно-Гокчинского хребта (см. табл. 11).

² Приложение к очерку А. С. Гинзберга: „Петрография республики Армении“. Изд. Ак. наук. 1934 г.

гических районов (рис. 4) Б. Д. Зайкова,¹ в основу которой положен режим речного стока. Наблюдается большое сходство этих карт, хотя в обоих случаях нельзя говорить ни о вертикальной, ни о горизонтальной зональ-

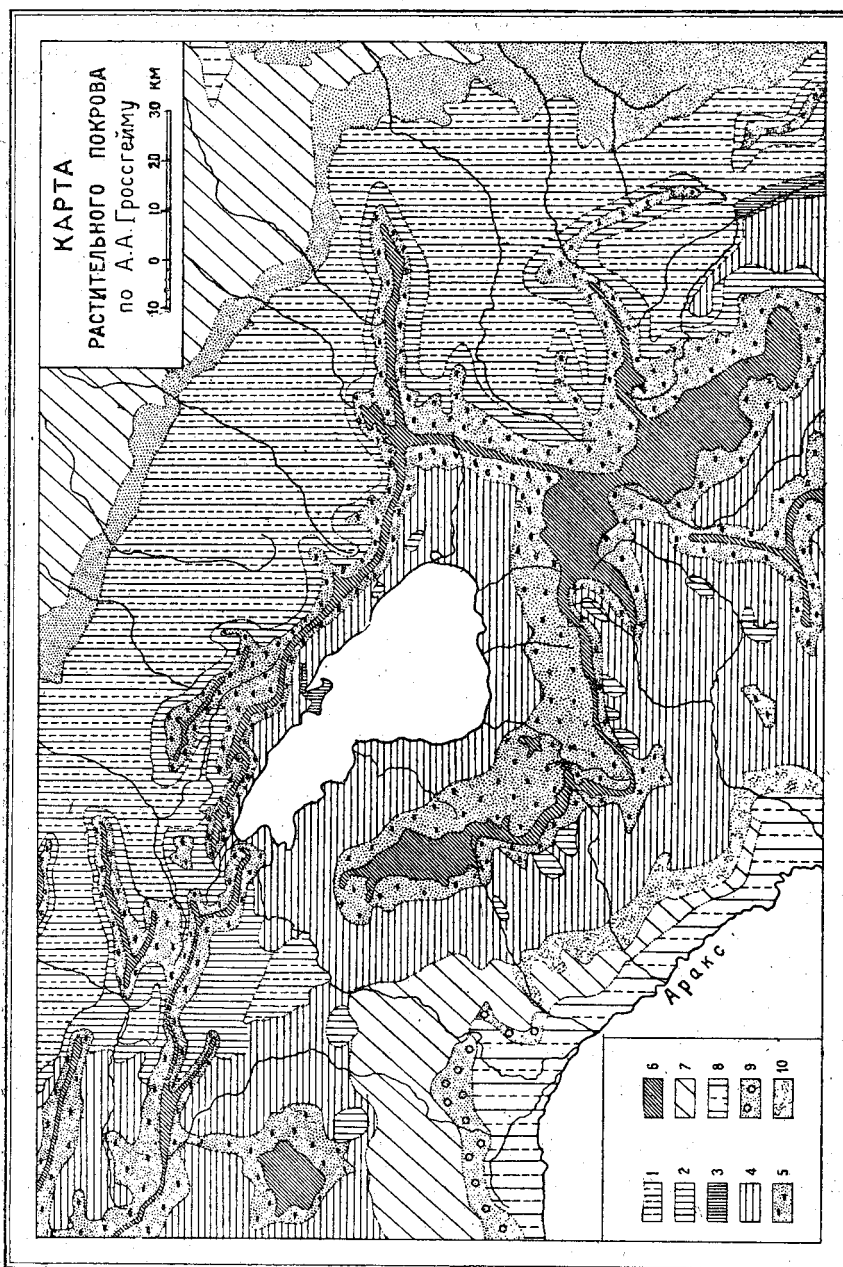


Рис. 6.

1 — леса средней и нижней горных зон; 2 — леса верхней зоны; 3 — можжевеловые леса; 4 — горностепная растительность; 5 — субальпийская растительность; 6 — альпийская растительность; 7 — полая полупустыня; 8 — солончатая полупустыня и солончаки; 9 — полупустыня на песчаных почвах; 10 — горно-сферофильная растительность.

ности. Такую же картину представляет и гидрогеологическая карта Севанского бассейна (рис. 5, стр. 7), составленная С. С. Кузнецовым.²

¹ Б. Д. Зайков. Гидрологический очерк бассейна оз. Севан. Мат. по исслед. оз. Севан ч. I, вып. 3. Лнгр., 1933 г.

² О некоторых геоморфологических чертах побережий оз. Севан. Изв. Акад. наук СССР. 1930 г.

Зато ярко выраженный зональный характер носят все элементы климата. На климатических признаках мы сейчас не останавливаемся, так как им будет отведено в настоящем очерке особое внимание. Укажем лишь, что присутствие озера на дне севанской котловины еще больше усиливает зональность в распределении большинства элементов климата как в вертикальном, так и горизонтальном направлении. Естественно, что и основные гидрологические показатели — модули и коэффициенты стока — подчинены той же закономерности. Сказанное подтверждается на целом ряде климатических и гидрологических карт.

Наконец, следующая группа элементов ландшафта занимает промежуточное положение между двумя первыми. К ней относятся почвы и растительный покров (рис. 6). Находясь в тесной зависимости от климатических факторов, эти элементы, как известно, строго подчиняются принципу вертикальной зональности.

В самом общем виде высотное распределение почвенных и растительных типов в бассейне Севана может быть представлено следующей схемой по А. А. Завалишину и О. М. Зедельмейер.¹

Высотные зоны	Почвенные типы	Растительные типы
от уровня озера до 2400 м	черноземы	степи
2300 м — 2700 м	горно-луговые черноземовидные	субальпийские луга
2600 м и выше	коричневые и розоватые (торфянистые)	альпийские луга

Под влиянием местных климатических особенностей почвенные и ботанические зоны иногда обнаруживают более значительные смещения по высоте, как например, в северо-западной части бассейна. Здесь сравнительно большая увлажненность почв вполне отвечает большему количеству осадков и повышенному модулю стока. Точно так же заметна разница между западным и восточным побережьем Севана. Однако во всех этих случаях сохраняется определенная последовательность зон.

Наряду с этим почвенная и ботаническая карты Севанского бассейна содержат немало отступлений азонального характера. Таковы, например, заболоченные участки, солончаковые пятна и пр. Даже древесная растительность в бассейне Севана, как и во всей Армении, зависит не только от соответствующей климатической зоны, но и от гидрогеологических условий. Там, где верхний покров образует трещиноватые лавы, леса не развиваются, так как корни деревьев не находят достаточно почвенной и подпочвенной влаги. Характерно, что на западном и южном берегах озера, которые залиты лавой, нигде не встречается даже следов лесной растительности, а восточный берег, образованный туфогенными порфиритами и известняками, сохранил древесную и кустарниковую растительность, правда, находящуюся в сильном угнетении из-за усиленной пастбы скота и вырубок. В недавнем же прошлом все это побережье было покрыто лесом и кустарником.

Морфометрия озера Севан

До последнего времени наиболее полные сведения о морфометрии озера Севан можно было найти в обстоятельной работе Е. С. Маркова,²

¹ Бассейн оз. Севан, т. II, вып. 2 и 3. Изд. Акад. наук. Ленинград, 1931 и 1933 гг.

² Оз. Гокча, ч. I. СПб, 1911 г.

но карта глубин была составлена им на основании очень ограниченного числа профилей и точек. Поэтому Севанским бюро была предпринята подробная съемка озера.

Результаты исследований изложены в очерке руководителя этих работ гидрографа И. А. Киреева¹ и представлены им на батиметрической карте масштаба 1:100 000. Кроме того изданы планшеты самой съемки в масштабе 1:10 000.

Весь этот обширный материал позволил вычислить достаточно детально площади и объемы озера при различной высоте его уровня и выявить характерные особенности подводного рельефа. Здесь приводятся лишь основные показатели.

Площадь озера, приведенная к нулю глубин, т. е. к абсолютной высоте уровня 1916,09 м, составляет 1416,0 км². Если, придерживаясь терминологии Ивановского и Маркова, взять отдельно Большой (юго-восточный) и Малый (северо-западный) бассейны, то на долю первого приходится 1032,4 км², а на долю второго 383,6 км². Объем всего озера 58,5 км³. Средняя глубина Большого Севана — 37,7 м, Малого — 50,9 м, всего озера — 41,3 м. Максимальная глубина Большого Севана — 58,7 м, Малого — 98,7 м.

Интересно сопоставление озера Севан с другими высокогорными озерами. В сводке озер всего земного шара, составленной W. Halbfass'ом,² имеется только четыре озера, которые превосходят Севан одновременно и по площади и по высоте над уровнем моря.

Озеро	Страна	Высота м	Площадь км ²	Макс. глубина м
Тенгри-нор	Тибет	4 609	1 700	—
Титикака	Перу, Боливия	3 812	6 900	272
Поопо	Боливия	3 694	2 530	3
Куку-нор	Центр. Китай	3 145	4 800	38

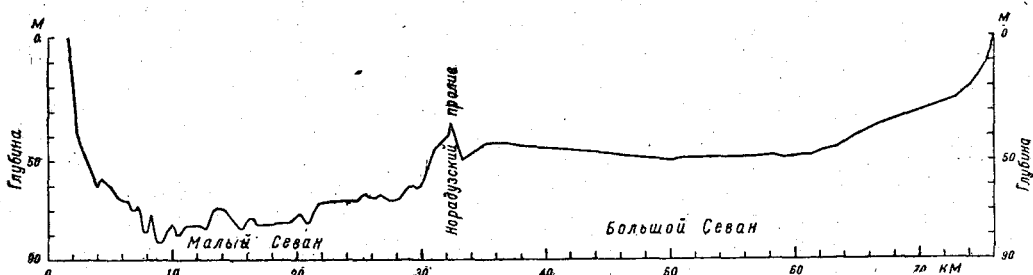


Рис. 7. Профиль дна оз. Севан по его длинной оси, от устья р. Балык-чай до с. Загалу.

Немного уступают по высоте, но превосходят по площади следующие озера:

Озеро	Страна	Высота м	Площадь км ²	Макс. глубина м
Тана	Абиссиния	1 830	3 100	55
Ван	Турция	1 725	3 400	—
Иссык-куль ³	СССР	1 580	6 205	702

Самой характерной особенностью рельефа дна Севана является наличие подводного порога, отделяющего обе части водоема (см. рис. 7)

¹ И. А. Киреев. Гидрографические работы на озере Севан. Мат. по исслед. оз. Севан ч. V Лнгр., 1933 г.

² Die Seen der Erde. Gotha, 1922.

³ Л. С. Берг. Гидрологические исследования на Иссык-куле в 1928 г. Известия ГГИ, № 28.

Таким образом деление озера на Большой и Малый Севан имеет не только внешнее обоснование. Эта особенность будет иметь большое значение при осуществлении проекта эксплуатации озера, так как при снижении его уровня на 39 м произойдет разделение озера на два самостоятельных водоема.

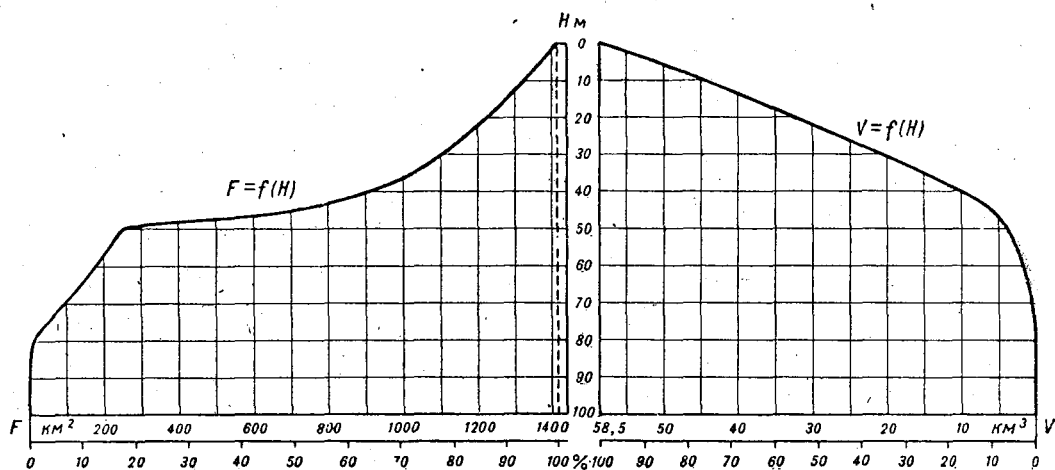


Рис. 8. Кривые изменения площади F и объема V озера Севан по мере понижения его уровня H .

На рис. 8 и в табл. 1 представлены изменения площади и объема озера по мере понижения его уровня. Сокращение площади сперва пойдет довольно медленно, так как средние уклоны дна в прибрежной зоне Севана довольно значительны (около 2°). Но постепенно дно становится все более пологим, и в интервале между 40- и 50-метровой изобатами среднее падение дна составляет только $11'$, а в Большом Севане даже $4'$. Следовательно, по достижении этой глубины произойдет максимальное сокращение площади озера, и вся котловина Большого Севана выйдет из-под уровня воды. Ниже 50 м гипсографическая кривая имеет резкий изгиб, иначе говоря, дальнейшее понижение уровня будет вызывать медленное сокращение площади озера.

Так как основные элементы водного баланса озера—осадки и испарение—находятся в прямой зависимости от площади зеркала озера, то по вышеуказанной кривой уже заранее можно судить о том, при какой глубине снижения уровня будут происходить максимальные изменения и его водного баланса. Эти расчеты и даны в конце настоящего очерка.

Наконец следует отметить еще одну особенность рельефа, которая также будет иметь практическое значение.

В Малом Севане большие глубины, свыше 50 м, подходят близко к западному берегу. Это значительно облегчает систему забора воды из озера. В Большом Севане, который подлежит полному осушению, таких благоприятных условий рельефа нет. Несмотря на то что наиболее глубокая точка расположена здесь почти у самого подводного порога в Норадузском проливе, она представляет собой небольшую изолированную впадину, точно так же, как и все остальные впадины Большого Севана. В целом же дно этой котловины не имеет явно выраженного уклона на север к Норадузскому проливу, и если даже прорыть канал и дать свободный выход воде из Большого в Малое озеро, то на дне Большого

Таблица 1

Изобаты м	Площадь, км ²			Объем, млн. м ³		
	Малый Севан	Большой Севан	Все озеро	Малый Севан	Большой Севан	Все озеро
0	383,60	1 032,43	1 416,03	19 524	38 950	58 474
5	368,41	1 004,48	1 372,89	17 644	33 863	51 507
10	354,71	975,79	1 330,50	15 837	28 909	44 746
15	338,70	940,19	1 278,89	14 102	24 126	38 228
20	323,61	903,17	1 226,78	12 448	19 511	31 959
25	312,85	858,04	1 170,89	10 857	15 091	25 948
30	300,85	801,48	1 102,33	9 323	10 942	20 265
35	286,55	727,91	1 014,46	7 854	7 104	14 958
40	268,82	635,33	904,15	6 469	3 704	10 173
45	253,18	420,18	673,36	5 163	949	6 112
50	235,08	3,59	938,67	3 943	2	3 945
55	211,19	0,00	211,19	2 825	0	2 825
60	176,36	—	176,36	1 844	—	1 844
65	137,54	—	137,54	1 059	—	1 059
70	89,30	—	89,30	501	—	501
75	49,09	—	49,09	153	—	153
80	10,07	—	10,07	30	—	30
85	1,88	—	1,88	4	—	4
90	0,12	—	0,12	0	—	0
95	0,01	—	0,01	0	—	0

Севана останется несколько впадин в виде отдельных речных плесов. Поэтому потребуются ряд гидротехнических мероприятий для пропуска воды и дренирования этого равнинного участка.

II. КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ОЗЕРА

Всякое временное преобладание прихода или расхода воды в озере связано с соответствующим изменением его объема и уровня. Каким же колебаниям подвержен современный уровень озера? Находится ли оно в состоянии равновесия, или наблюдается тенденция к постепенному повышению или понижению его горизонта?

Этим вопросом давно уже интересовались многие исследователи. Сейчас можно уже утверждать, что многолетний баланс воды и уровень озера являются стационарными. Во всяком случае никак нельзя говорить об усыхании озера в последние годы. Против этого можно привести много ярких и убедительных фактов, частью уже отмеченных в литературе,¹ частью собранных нами на месте. Назовем только некоторые из них.

Затопленные пни деревьев на о. Севан, частично залитые или уже совершенно скрывшиеся под водой каменные ограды и строения в сел. Севан (Еленовка) и Загалу, наполовину затопленные древнейшие урартийские надписи VII века до нашей эры на скалах близ с. Келани-Крлан (Келакран) — все это говорит о том, что в разное время на протяжении современной и древней истории уровень озера стоял ниже, чем в настоящее время.

¹ См. указания проф. Л. С. Берга в „Землеведении“ (1911 г.) и в Трудах 2-го Всесоюзного гидрологического съезда (1929 г.), очерки А. Ф. Ляйстера, Митте, Маркова, Nöschel'я и др.

С другой стороны можно привести ряд примеров и обратного явления. Следы более высокого стояния уровня озера сохранились главным образом в виде береговых образований — валов, „гокчинской плиты“¹ и налетов извести на скалах — на тех местах, куда прибой волн сейчас уже не достигает.

Имеются и другие свидетели более высокого стояния уровня озера в прошлом или, быть может, правильного, поднятия его берегов, как, например, береговые террасы на высоте десятков метров над современным уровнем озера.² Но эти факты уже выходят из рамок исторического времени, являются еще не вполне решенной геологической задачей, и здесь мы их касаться не будем. Точно также мы исключаем из рассмотрения то поднятие уровня озера, которое имело место после излияния ахманганских лав и образования запруды на месте истока из озера.

Систематические наблюдения над уровнем озера начались лишь в 1889 г. До того сохранились только отрывочные и случайные свиде-

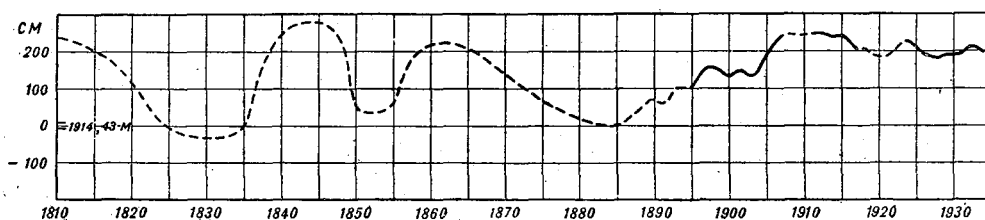


Рис. 9. Многолетние колебания уровня озера Севан.

тельства различных лиц, которые дают возможность лишь в самых грубых чертах наметить характер колебаний уровня озера в течение почти всего прошлого столетия.

А. Ф. Ляйстер и Г. Ф. Чурсин³ приводят график многолетнего хода уровня с 1810 г., составленный по данным правительственной инспекции концессии английского инженера Стюарта. Этот график (рис. 9) дает лишь самое общее представление о характере колебания уровня озера в разные десятилетия прошлого века. Что же касается абсолютной высоты уровня озера в эти годы, то она не может быть признана надежной. Поэтому эта часть графика расценивается как первое приближение к истине. Правая часть (показана сплошной линией) дополнена нами на основании систематических наблюдений на водомерном посту в с. Севан (Еленовке) до 1935 г. и является достаточно надежной.

Едва ли можно говорить сейчас о строгой периодичности колебания уровня озера. Но если исключить сомнительный излом кривой в начале 50-х годов, то как будто получает некоторое подтверждение весьма распространенное среди местного населения мнение о 30-летнем полупериоде колебания уровня озера. Если это положение верно, то в течение ближайшего десятилетия следует ожидать дальнейшего падения уровня озера.

Затопленные каменные строения, следы которых и сейчас еще видны под водой в Еленовском заливе, очевидно, относятся к восьмидесятым и началу девяностых годов прошлого столетия, когда уровень озера

¹ Плотного конгломерата, который получается путем цементации прибрежной гальки и гравия выделяющейся из воды озера углекислой известью.

² С. С. Кузнецов. О некоторых геоморфологических чертах бассейна оз. Севан. Изв. Акад. наук СССР. 1930 г.

³ География Закавказья. Тифлис, 1929 г.

стоял на 1,5—2,0 м ниже современного. Старожилы помнят то время, когда эти строения были на сухом берегу.

Мы не будем касаться здесь причин колебания уровня озера, так как вопрос этот достаточно освещен в литературе. В настоящее время всякие версии о сейсмических и подобных им причинах колебания уровня озера можно считать окончательно отброшенными. Б. Д. Зайков¹ приводит сопоставление колебаний уровня озера с метеорологическими факторами — осадками и температурой воздуха, что еще раз подтверждает на цифровом материале взаимосвязь этих явлений. В настоящее же время, когда мы располагаем данными о всех элементах водного баланса на протяжении ряда лет, не остается никаких сомнений в том, что современные колебания уровня озера являются прямой функцией величины прихода и расхода воды в озере.

Перейдем к результатам самих наблюдений. В табл. 2 приведены средние годовые уровни озера Севан в сантиметрах над нулем графика Еле-

Таблица 2

Средние годовые уровни озера Севан

Годы	Уровень см	Годы	Уровень см	Годы	Уровень см	Годы	Уровень см
1890	70	1900	132	1911	243	1925	207
1891	55	1901	144	1912	250	1926	190
1892	65	1902	142	1913	240	1927	184
1893	104	1903	136	1914	233	1928	184
1894	100	1904	143	1915	244	1929	195
1895	102	1905	196	1916	230	1930	192
1896	128	1906	220	1917	205	1931	195
1897	155	1907	242	1918	175	1932	212
1898	160	1908	244	1919	182	1933	215
1899	140	1910	237	1924	220	1934	198

Таблица 3

Средние месячные уровни озера Севан (в сантиметрах)

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средний годовой	Амплитуда колебаний средних месячных уровней
1927	171	170	169	173	187	201	204	200	194	186	181	171	184	35
1928	165	165	167	172	190	202	204	200	196	188	182	178	184	39
1929	174	170	170	177	199	216	219	215	209	206	197	190	195	49
1930	185	182	184	189	198	207	208	206	192	189	186	181	192	27
1931	175	172	172	177	192	206	215	219	217	208	199	193	195	47
1932	191	191	193	199	215	229	231	225	223	220	214	209	212	40
1933	206	205	206	208	217	231	237	231	221	213	206	197	215	40
1934	195	192	191	198	204	212	214	213	202	191	184	178	198	36
Среднее за 1927—1934	183	181	182	187	200	213	216	214	207	200	194	187	197	39

¹ Гидрологический очерк бассейна озера Севан. Мат. по исслед. оз. Севан и его бассейна. ч. I, вып. 3. Лнгр., 1933 г.

новского водомерного поста, абсолютная отметка которого 1914,43 м. Курсивом отмечены неполные или несколько сомнительные данные.

Средняя высота уровня озера за все 40 лет наблюдений составляет 178 см. Для суждения о месячных колебаниях уровня озера достаточно привести данные за последние восемь лет (табл. 3).

Отклонения средних месячных уровней от среднего годового, составляющего в данном случае 197 см, выражаются следующими величинами (см. рис. 10):

январь	-14 см	май	3 см	сентябрь	10 см
февраль	-16 "	июнь	16 "	октябрь	3 "
март	-15 "	июль	19 "	ноябрь	-3 "
апрель	-10 "	август	17 "	декабрь	-10 "

Амплитуда средних месячных уровней составила в среднем за 8 лет 39 см, колеблясь в отдельные годы от 27 до 49 см. Если же взять весь 40-летний период наблюдений, то минимальная амплитуда колебаний составляет только 20 см, а максимальная достигает до 90 см.

Мы не рассматриваем здесь подробно таких явлений, как колебания уровня озера под влиянием сгонных и нагонных ветров, ветровые волны и сейши. Хотя размеры их могут превышать даже сезонные колебания уровня озера, но, оперируя со средними месячными величинами, мы можем пренебречь всеми этими факторами. Отметим лишь некоторые данные, которые необходимы бу-

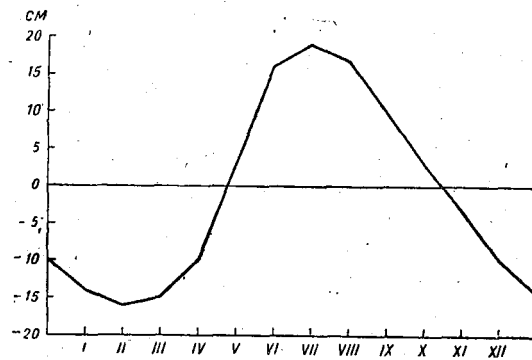


Рис. 10. Средний годовый ход уровня озера Севан.

дут для технического проектирования. Сейши наблюдаются на озере почти постоянно, но обычно эти колебания с периодом в несколько минут имеют амплитуду в пределах до 10 см.

Наряду с этим в озере иногда наблюдаются и более мощные колебания с периодом волны около 2 час. и с максимально наблюдавшейся высотой до 0,5 м.

Что касается ветровых волн, то в прибрежной зоне северо-западной части озера (Чубухлинский и Еленовский заливы), где предстоят основные гидротехнические сооружения, максимальная высота их даже при исключительной силе ветра едва достигает 1 м.

Приращение уровня и объема воды в озере

Приведенные в табл. 3 данные не могут быть непосредственно использованы для вычисления приращения объема озера за какой-либо промежуток времени. В дальнейшем при определении водного баланса озера придется иметь дело с приходом и расходом воды за месяц, т. е. с первого по последнее число. Поэтому и приращение объема воды в озере должно быть исчислено именно за тот же промежуток времени, а не по средним месячным величинам.

Изменения объема воды в озере и его уровня не находятся между собою в прямолинейной зависимости, поскольку площадь озера — величина переменная. Однако в пределах вышеуказанных годовых и месячных колебаний величиной изменения площади озера (со знаком + или —)

практически можно пренебречь. Так, например, при падении среднего уровня озера на 1 м площадь зеркала сокращается всего на 0,65%.¹ Для всех дальнейших расчетов принимается, что приращение объема воды в озере за какой-либо промежуток времени в этих ограниченных пределах прямо пропорционально приращению его уровня.

Задача определения приращения уровня озера практически является довольно сложной и чреватой значительными погрешностями. Причиной тому является прежде всего самый способ определения уровня с точностью до 1 см. При площади озера в 1416 км² слой в 1 см заключает в себе объем воды свыше 14 млн. м³. Ошибка в 1 см в вычислении месячного приращения уровня может превзойти по своим размерам месячную величину отдельных элементов водного баланса.

С другой стороны, весьма затруднительно определить с достаточной точностью средний уровень озера на первое число каждого месяца, так как в разных участках озера он подвержен неодинаковым колебаниям. Наконец, даже на одном и том же посту уровень испытывает непрерывные колебания под влиянием сгона и нагона воды, сейш и обычных ветровых волн. Правда, наличие четырех водомерных постов в разных концах озера с трехкратными в сутки наблюдениями уровня при тщательности их могли бы гарантировать недопущение большой ошибки при вычислении среднего уровня. Действительно, сличение абсолютных отметок средних месячных уровней на разных постах за 1927—1930 гг. показало их идентичность. Это позволяет считать, что средние месячные уровни на основном посту в с. Севан отражали в эти годы месячные колебания уровня всего озера, хотя в последующие годы все чаще стали обнаруживаться расхождения с другими постами, очевидно, за счет смещения нулей реек, а иногда и качества самих наблюдений.

Сказанное здесь об идентичности уровней на разных постах относится лишь к средним месячным величинам. В отдельные же дни могут наблюдаться весьма значительные расхождения. Даже самый осторожный подход не исключает возможности ошибок.

Исчисление среднего уровня на первое число каждого месяца производилось двумя способами.

Первый способ заключается в проведении плавной линии на совмещенном графике годового хода уровней на всех постах. При этом следует, конечно, пренебрегать всеми резкими отклонениями и случайными смещениями уровня на том или ином посту. Плавная кривая позволяет сделать отсчет среднего уровня озера на первое число каждого месяца.

Второй способ заключается в вычислении среднего арифметического из показаний нескольких или одного наиболее надежного поста за десять дней, ближайших к первому числу, т. е. пяти последних дней предыдущего месяца и пяти первых дней последующего. Например, средним уровнем озера на 1 июля надо считать среднее из показаний водомерного поста с 26 июня по 5 июля. Таким несколько условным способом устраняется влияние случайных колебаний.

Для наглядного представления о характере этих колебаний приводится здесь, как пример, график ежедневных уровней озера Севан за 1933 г. по наблюдениям в 1 час дня на четырех водомерных постах (рис. 11).

Применяя тот или иной способ подсчета в зависимости от надежности данных, получаем следующие приращения уровня озера за восьмилетний период (табл. 4).

Общее приращение уровня озера за все восемь лет исследований составляет 2 см или в среднем 0,25 см в год. Последняя величина нахо-

¹ И. А. Киреев. Гидрографические работы на озере Севан. Мат. по исслед. оз. Севан, ч. V. Лнгр., 1933 г.

Таблица 4

Приращение уровня озера Севан (в сантиметрах)

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1927	-3	-1	1	8	17	10	-2	-4	-6	-10	-5	-10	-5
1928	-3	3	2	13	14	8	-1	-4	-6	-10	-2	-5	9
1929	-4	-2	1	17	23	9	-3	-4	-6	-5	-9	-5	12
1930	-4	1	1	9	9	5	-1	-9	-10	0	-7	-6	-12
1931	-6	0	2	11	15	10	9	1	-9	-9	-6	-5	13
1932	-1	1	3	10	17	11	-4	-7	2	-8	-5	-4	15
1933	-2	-1	1	5	15	10	1	-9	-10	-6	-9	-5	-12
1934	-4	-1	0	9	8	5	0	-3	-14	-10	-4	-4	-18
Среднее . . .	-3,4	0,0	1,4	10,2	14,8	8,5	-0,4	-4,9	-7,4	-7,2	-5,9	-5,5	0,2

дится в пределах точности самого метода определений, поэтому можно считать, что за это время уровень озера почти не изменился или, иначе, приходная часть водного баланса оказалась равной расходной.

III. ПРИХОД ВОДЫ В ОЗЕРО

Питание озера Севан складывается из трех источников: 1) атмосферных осадков, выпадающих на зеркало озера, 2) поверхностного притока воды в озеро с его водосборного бассейна и 3) подземного притока воды.

Некоторое, правда, весьма ничтожное, значение может также иметь конденсация влаги из воздуха на поверхности озера, но этот фактор правильнее будет рассматривать в следующей главе как испарение, но с отрицательным знаком.

Осадки в бассейне озера

Карта изогьет Севанского бассейна

В задачу настоящего очерка не входит детальное рассмотрение законов и особенностей выпадения осадков в пределах Севанского бассейна. Этой теме посвящена специальная работа Г. И. Орлова,¹ где даны все материалы по осадкам не только в бассейне озера, но и в соседних районах Закавказья за все время существования метеорологических станций.

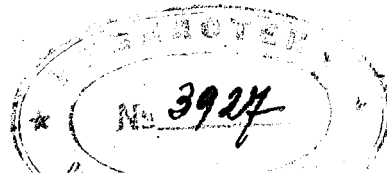
В той же работе дана карта распределения осадков в Южном Закавказье на основании многолетних данных и отдельно более подробная карта изогьет в бассейне озера Севан за 4 года полевых исследовательских работ Севанского гидрометеорологического бюро, т. е. с 1927 по 1930 г.

В настоящее время мы имеем возможность уточнить обе карты данными еще четырех лет (1931—1934 гг.).

Особенно значительной переработке подверглась карта осадков в соседних с озером Севан районах, поскольку у Г. И. Орлова она не была разработана с такой подробностью, как карта осадков в бассейне озера.

При составлении новой карты использованы не только данные по целому ряду новых пунктов наблюдений, но и довольно обширный мате-

¹ Атмосферные осадки в бассейне оз. Севан и прилегающих районах. Мат. по исслед. оз. Севан. ч. III, вып. 2. Лигр., 1935 г.



риал по речному стоку ССР Армении,¹ а также новейшие данные о плювиометрических градиентах. В настоящем очерке мы ограничиваемся изложением данных, относящихся только к бассейну Севана, и прилагаем лишь одну карту осадков всего Южного Закавказья (приложение II).

Преобладающее большинство севанских метеорологических станций расположено в нижней прибрежной зоне, где сосредоточено и большинство населенных пунктов. Такое размещение сети является, конечно, вынужденным и создает большие затруднения при картировании осадков на всей площади бассейна, особенно в его верхних зонах.

В табл. 5 приводятся годовые суммы осадков на всех станциях севанского района за восьмилетний период.

Таблица 5

Годовые суммы осадков (в миллиметрах)

Станции	Высота над ур. моря	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	Среднее за 1927—1934 гг.
Севан (Еленовка)	1 924	508	555	556	590	717	446	499	422	536
О. Севан	1 918	386	438	453	496	487	360	385	343	420
Чубухлы	1 960	—	—	579	552	763	528	529	476	*575
Семеновка	2 090	586	657	621	*502	703	485	553	496	574
Тохлуджа	2 010	411	404	461	—	628	—	—	270	*424
Шорджа	1 918	362	385	395	398	488	354	311	315	377
Саганахач	2 005	395	374	450	*448	*507	*330	*269	*187	*372
Загалу	1 936	414	466	400	418	470	*251	—	*172	*358
Басаргечар	1 930	516	443	300	422	611	360	340	307	413
Нижняя Гезельдара	2 000	—	—	—	479	—	447	409	—	—
Мартуни	1 945	445	474	376	436	537	398	336	312	413
Яных	2 325	297	*451	420	317	*526	360	426	—	*400
Мыс Норадуз	1 920	—	—	398	370	374	329	—	—	*356
Нор-Баязет	1 960	483	407	521	429	558	385	396	*340	440
Нижние Ахты	1 780	499	662	*510	544	796	554	582	436	571

Примечание. Звездочка обозначает данные, полученные по неполным наблюдениям

При проведении изогет в верхних зонах Севанского бассейна пришлось применить метод вертикальных плювиометрических градиентов. Так как величина их обычно сильно колеблется в зависимости от различных физико-географических условий, то весь бассейн и прилегающие к нему районы были разбиты на ряд участков, примерно соответствующих каждому из склонов окружающих озеро хребтов. Этим достигается в пределах каждого из участков некоторая однородность хотя бы такого решающего фактора, как экспозиция главного склона.

Наиболее трудно было определить количество осадков на водораздельных гребнях. Наблюдающаяся в Севанском бассейне местная плювиометрическая аномалия и незначительная разность высот большинства станций не дают возможности уверенно экстраполировать от прибрежных станций вверх по склонам окружающих гор. Поэтому для вычисления осадков на водоразделах бассейна в большинстве случаев оказалась более надежной экстраполяция со стороны внешних, т. е. противоположных склонов, не испытывающих на себе непосредственного влияния этой местной аномалии. Затем уже, имея опорные точки в верхних и нижних

¹ В. К. Давыдов и Л. А. Владимиров. Основные контуры водного баланса Армении. Зап. ГГИ, т. X. 1924 г.

частях Севанского бассейна, можно было путем интерполяции строить и карту изогиев. При этом были использованы данные суммарных дождемеров, установленных нами по периферии бассейна.¹

Трудности и условности пользования этими градиентами вполне ясны. Их количественные значения, способ получения и, наконец, возможность применения их для экстраполяции вверх могут вызвать ряд серьезных возражений. Поэтому приходится подходить к этому вопросу крайне осторожно.

Предварительно мы убедились в том, что ни одна из станций и ни один из суммарных дождемеров не только в бассейне Севана, но и во всей Армении не достигают зоны предельной величины осадков, выше которой количество их должно уменьшаться. Собранными за последние годы данными этот факт можно считать окончательно установленным. Можно лишь говорить о том, что в самых верхних участках интенсивность нарастания осадков ослабевает, т. е. плювиометрический градиент уменьшается.

Далее самый процесс экстраполяции осадков на отдельные участки водораздела производился из нескольких отправных пунктов; таким образом результаты подсчета взаимно контролировались. Кроме того, при проведении изогиев учитывалась вся совокупность физико-географических данных и в первую очередь данные о стоке воды. С этой целью были определены коэффициенты стока тех рек бассейна Севана, для которых имеются соответствующие данные. Эти коэффициенты служили грубым контролем карты изогиев.

В общем при составлении этой карты были использованы следующие данные, которые в отдельности не являются достаточно надежными, но при взаимной согласованности друг друга подкрепляют:

- 1) систематические наблюдения на метеорологических станциях в бассейне Севана и в соседних районах;
- 2) отрывочные показания суммарных дождемеров (на карте показаны только те дождемеры, от которых получены более надежные данные);
- 3) плювиометрические градиенты, вычисленные для отдельных участков;
- 4) коэффициенты и изолинии стока;
- 5) карты распределения в бассейне Севана тех физико-географических факторов, которые сами по себе являются прямыми или косвенными показателями величины выпадающих осадков: снегового покрова, почв, растительности.

Совокупность этих данных и увязанность их между собою дают основание считать достаточно близким к действительности то распределение осадков, которое представлено на нашей карте. Несколько меньшей верностью обладает лишь в отношении крайней верхней изогией 900 мм. Во всяком случае эта карта значительно ближе отвечает действительному распределению осадков в верхних зонах, чем прежние карты, строившиеся путем простой интерполяции между лежащими внизу долинах метеорологическими пунктами.

Прекрасным примером взаимной согласованности этих данных и возможности использования физико-географических данных для контроля при проведении изогиев может служить район верховьев р. Адиаманай (Айриджи).

Первые данные, поступившие с открытой нами метеорологической станции в с. Яных, вызвали большое сомнение, так как всегда преуменьшенное здесь количество осадков не увязывалось с данными соседних станций. Обычно инспекции не удавалось обнаружить каких-либо круп-

¹ В. К. Давыдов. Опыт суммарного учета осадков в нагорной части Армении. м. также цитированный очерк Г. И. Орлова.

ных и систематических дефектов в работе этой станции. Вопрос выяснился только после того, как район с. Яных по нашей просьбе был тщательно обследован геоботанической экспедицией Академии наук СССР, работавшей на южном берегу Севана. Экспедиция обнаружила здесь необычайный для этой высоты ксерофильный характер растительности и тем подтвердила наличие местной плювиометрической аномалии.

Впоследствии схема распределения среднего годового стока (приложение III) также подтвердила указанную особенность этого района.

Средняя годовая сумма осадков на водосборной площади бассейна за 1927—1934 гг., определённая путем планиметрирования новой карты изогией, составила 598 или, округленно, 600 мм.

Осадки на зеркале озера

Вернемся теперь к наиболее интересующему нас вопросу об осадках на зеркале озера.

Непосредственных данных для центральной части севанской котловины не имеется, если не считать отрывочных и недостаточно надежных данных пловучей станции посреди озера. Но зато, как уже известно имеется густая сеть прибрежных станций.

Карта изогией водосборной площади Севанского бассейна обнаруживает определенный закон уменьшения осадков с приближением к центру котловины. Изогиета 400 мм почти совпадает с очертаниями береговой линии озера. Выдающийся в озеро полуостров и все юго-восточное побережье заключены внутри этой изогией, и здесь осадков еще меньше: например, на мысе Норадуз — 361 мм, в Загалу и Сатанакхаче — 372 мм. Очевидно, в центральной части озера должна проходить изогия 350 мм. Ее точные контуры нам неизвестны. Условно, в соответствии с общим направлением изогией, ее можно провести так, как показано пунктиром на карте. Путем планиметрирования средняя величина осадков на зеркале озера определяется в 370 мм.

Точно такие же карты, но лишь для центральной части бассейна были составлены для каждого года в отдельности, в результате чего получены следующие годовые суммы:

1927	380 мм	1931	435 мм
1928	395 „	1932	320 „
1929	390 „	1933	330 „
1930	405 „	1934	280 „

В среднем за 8 лет это дает 367 мм или, округленно, те же 370 мм. Что касается месячных сумм осадков на зеркале озера, то последние получены таким же способом, т. е. путем построения и планиметрирования месячных карт изогией. Дополнительным контролем служило среднее процентное отношение месячных величин осадков к их годовым суммам, вычисленное по пяти береговым станциям: о. Севан, Шордж Норадуз, Мартуни и Загалу. В тех же или в весьма близких к ним процентных соотношениях должны находиться и месячные суммы осадков и площади всего озера. Результаты планиметрирования месячных карт следующие:

январь	11 мм	май	58 мм	сентябрь	40 мм
февраль	13 „	июнь	57 „	октябрь	27 „
март	16 „	июль	38 „	ноябрь	25 „
апрель	39 „	август	33 „	декабрь	13 „

Определение величины осадков на зеркале озера является задачей весьма ответственной, поскольку оно связано с исчислением все

водного баланса Севана. Поэтому необходимо возможно большее уточнение этой величины.

В вышеприведенных расчетах за зимние месяцы мы пользовались теми данными, которые дают непосредственные наблюдения на метеорологических станциях. Однако сейчас уже не остается сомнений в том, что в условиях открытой местности и при сильных ветрах показания дождемеров даже с защитой Нифера преуменьшают действительную величину выпавших осадков вследствие выдувания снега из дождемерного ведра.

Специальные наблюдения на Севане¹ еще раз подтвердили, что ошибка в этих показаниях может достигать в некоторые месяцы 100%, а в среднем она составляет около 50%, т. е. действительная величина зимних осадков в полтора раза больше показанной дождемером.

Чем больше скорость ветра и общая продолжительность морозного периода и чем меньше повторяемость дней с оттепелью, тем больше должна быть поправка к показаниям дождемера.

Точно установить величину этой поправки для побережья и всего зеркала озера Севан, конечно, нельзя, но здесь она несколько меньше, чем на станциях, удаленных от озера. В соответствии с указанными выше климатическими факторами, в частности со средней скоростью ветра и повторяемостью метелей и оттепелей, допущено, что в первые два зимних месяца, т. е. в декабре и январе, она составляет около 20%, а в феврале и марте — 40%.

Мы предпочли внести хотя бы приближенно вероятную поправку, чем вовсе отказаться от нее по тем формальным соображениям, что точная величина ее неизвестна. Не исправляя месячных и годовых сумм осадков на всех севанских станциях (см. табл. 5, стр. 18), мы ограничились введением этих поправок лишь к средним величинам осадков на всей площади озера.

В окончательном виде распределение осадков на озере по месяцам представляется следующим образом:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
14	18	23	39	58	57	38	33	40	27	25	16	388

Исправленные годовые суммы за время наблюдений составляют:

1927 . . . 400 мм	1931 . . . 460 мм
1928 . . . 410 "	1932 . . . 340 "
1929 . . . 410 "	1933 . . . 350 "
1930 . . . 430 "	1934 . . . 300 "

Многолетние нормы и пределы колебаний осадков

Для суждения о многолетней норме осадков на площади озера мы располагаем данными только трех станций, имеющих длительный период наблюдений:

Севан (Еленовка) — 32 года	1895—1917, 1926—1934	518 мм
Семеновка — 33 "	1894—1917, 1926—1934	599 "
Нор-Баязет — 36 лет	1891—1915, 1924—1934	438 "

Построив графики связи между осадками на зеркале озера и на каждой из трех станций за 8 лет наблюдений, восстанавливаем по ним многолетние нормы осадков на озере.²

¹ См. цитированный очерк Г. И. Орлова.

² От обычного способа приведения на основании численных отношений мы отказались ввиду его меньшей надежности. Употребление простого множителя при приведениях может иметь место только в том случае, когда связь между станциями выражается прямой линией, проходящей через начало прямоугольных координат, что наблюдается далеко не всегда.

Путем приведения получаем:

По с. Севан	397 мм
По Семеновке	393 „
По Нор-Баязету	384 „
<hr/>	
В среднем	391 мм

Таким образом, средняя многолетняя сумма осадков почти полностью совпадает со средней за восьмилетний период.

Каковы же вероятные пределы колебаний этой средней многолетней величины?

За отсутствием других более надежных и обоснованных методов, строим кривую обеспеченности годовых сумм осадков на озере (рис. 12) обычным способом, т. е. по формуле:

$$P = 100 \left(\frac{m - 0,5}{n} \right),$$

где P — процент обеспеченности, n — число членов в ряде наблюдений, т. е. число лет наблюдений (в данном случае 8) и m — порядковый номер каждого члена при расположении их в убывающем порядке, — находим верхним теоретическим пределом осадков с обеспеченностью в 1% величину 525 мм, а нижним — 255 мм (обеспеченность 99%).

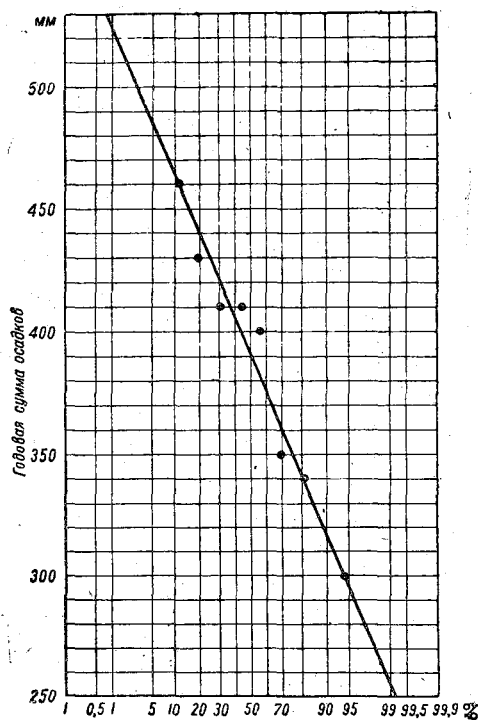


Рис. 12.

зависимости от геологических условий либо приближаются к этим крайним геоморфологическим типам, либо дают смешанные и промежуточные формы.

Те же геологические условия влияют и на самый режим речного стока, создавая необычайно большую амплитуду колебаний в степени его зарегулированности (см. рис. 4, стр. 6). В районах лавовых полей

Приток воды в озеро

Речная сеть бассейна озера Севан

Особенности геологического строения Севанского бассейна, как уже сказано, наложили глубокий отпечаток на густоту речной сети и водный режим. Достаточно, например, сопоставить северо-восточный Гюнейский берег озера с противоположным, Ахманганским. Сильная расчлененность Гюнея, сложенного в основном туфогено-порфиритами с равномерной и густой речной сетью является полной противоположностью хаотическим нагромождениям лавы в северной части Ахманганского хребта, почти совершенно лишенной эрозионных долин. Остальные участки Севанского бассейна

севанские реки имеют характер подземных источников с малыми колебаниями дебита, температуры и химических свойств. Полную противоположность им по своему режиму представляют небольшие реки-сели восточного берега.

Говоря о речной сети, приходится различать сеть постоянных живых потоков и временно действующих речных долин, оживающих только весной и во время коротких летних паводков. Поэтому самое понятие о густоте речной сети для Севанского бассейна является условным.

Карта речной сети (см. приложение I) дает нам представление только о постоянных живых потоках и не может служить показателем расчлененности рельефа речными долинами. Можно, например, указать на тот же Южнейский берег, где поперечно секущие балки, обычно сухие или едва сочащимися ручейками, следуют одна за другой на расстоянии иногда менее $1/2$ км и во всяком случае не более 2 км. Такого рода гидрографическая сеть может быть обозначена только на специальной карте и очень крупного масштаба.

В табл. 6 перечислены все постоянные притоки озера, кроме лишь самых мелких ручьев, кроме того даны основные морфометрические характеристики и сведения о средних годовых расходах воды в предустьевых частях этих притоков за время действия гидрометрических постов.

Таблица 6

Перечень притоков озера Севан

№ п/п.	Притоки	Длина км	Площадь бассейна км ²	Среднее падение м на 1 км	Средний годовой расход воды м ³ /сек.
1	Кявар-чай	40,0	480,5	31,9	3,47
2	Вали-агалу	19,5	69,1	76,4	0,9
3	Цаккар-чай	4,0			
4	Бахтак-чай	28,1		51,5	
5	Адиаман-чай ²	41,7	386,6	18,2	4,50
6	Куру-чай ³	27,0	101,8	55,1	1,10
7	Аликрых	20,2	49,8	63,0	—
8	Золохач	13,5	32,4	78,4	—
9	Снеговая	15,4	22,8	69,0	—
10	Гезельдара	27,5	114,8	47,1	1,50
11	Алучалу	19,1	71,8	67,0	0,36
12	Гедак-булаг ⁴	24,6	124,6	55,3	0,85
13	Родник Ярпузлу ⁵	3,5	—	—	0,33
14	Проток из оз. Гилли ⁶	40,0	793,4	31,8	4,76
15	Шишкая ⁷	14,4	12,0	87,5	—
16	Сарниер	11,6	18,0	97,4	—
17	Сатанахач	8,0	11,8	111,0	0,07
18	Каравансарай	8,4	26,9	121,4	—
19	Памбак	9,0	23,6	118,0	0,20
20	Шампырт	8,8	16,8	91,6	—
21	Бабаждан-дараси	7,4	19,1	114,7	—
22	Джил	9,0	20,7	94,0	0,07
23	Дели-ага	6,1	12,0	104,2	—
24	Новруз-оглы	5,5	7,4	115,6	—
25	Арданыш	7,3	16,9	110,5	—
26	Агбулаг	10,6	23,5	58,6	—
27	Тохлуджа	10,0	40,2	63,6	0,16
28	Балык-чай	20,8	86,6	35,6	1,06

¹ С Гельскими родниками. ² Или Айриджа. ³ Или Каранлуг. ⁴ Или Кизилванк-су. ⁵ Или Мельничный. ⁶ Р. Мазра. ⁷ Приближенные данные.

В перечень не вошло несколько довольно значительных родников, выходящих на самом берегу озера. Таковы, например, родники Бых-Быхан около устья р. Адиаман-чай, Короткий, Левобережный и Правобережный близ устья р. Гедак-булаг и др. Эти родники выходят, очевидно, в русле древних речных долин, ныне залитых лавой. Надо думать, что в отдаленные времена речная сеть в бассейне Севана была более густой. На северо-восточном берегу озера она сохранилась в первоначальном виде, а на западном и в некоторых участках южного побережья частично погребена под сравнительно недавними излияниями лав. Однако она не потеряла способности дренировать подземные воды.

В южной половине бассейна водораздельная линия отступает от озера значительно дальше, чем в северной. Здесь же расположены и наиболее возвышенные участки бассейна. Совершенно естественно, что питание озера поступает главным образом с южной части бассейна. Из 28 притоков озера 4 притока впадают в Малый Севан, а все остальные в Большой Севан.

Естественный сток воды с водосборной площади

Приток воды в озеро нельзя рассматривать как сумму расходов всех впадающих в него рек, так как в этом случае остался бы неучтенным сток воды с тех площадей, которые не имеют постоянной речной сети. Поэтому для получения суммарного притока воды в озеро необходимо решить последовательно две задачи: 1) на основании гидрометрических исследований определить приток воды с возможно большей площади бассейна и 2) подсчитать косвенным путем приток воды со всего остального водосбора.

В первый год работ Севанского бюро (1927) непосредственными исследованиями было охвачено более 40% всей площади бассейна, в последующие три года — свыше 70%, а после окончания исследований и передачи всей гидрометрической сети Управлению Гидрометеорологической службы ССР Армении, т. е. с 1931 по 1934 г. — свыше 50%. Гидрометрические посты были размещены таким образом, что непрерывные наблюдения имелись почти на всех сколько-нибудь значительных притоках озера.

Здесь нет надобности останавливаться подробно на особенностях гидрологического режима Севанского бассейна, поскольку они освещены в специальных очерках Б. Д. Зайкова¹ и С. Ю. Белинкова.² Хотя в них даны итоги наблюдений только за 1927—1930 гг., все же они содержат почти исчерпывающий материал по общей гидрологической характеристике бассейна.

В табл. 6 были даны средние секундные расходы воды на реках Севанского бассейна за все время исследований. Так как результаты наблюдений за 1931—1934 гг. нигде ранее не были опубликованы, то в настоящем очерке дается более подробная сводка в виде средних секундных расходов воды за каждый месяц (табл. 7).

Приведенные в этой таблице данные не вполне точно характеризуют величину естественного стока с отдельных речных бассейнов, так как часть воды выше гидрометрических створов разбирается на орошение. Пользуясь данными местных водохозяйственных органов, можно внести поправку на орошение к величине расхода воды в створах гидрометри-

¹ Б. Д. Зайков. Гидрологический очерк бассейна оз. Севан. Мат. по исслед. оз. Севан, ч. I, в. 3. 1933 г.

² Б. Д. Зайков и С. Ю. Белинков. Гидрометрические работы в бассейне оз. Севан. Мат. по исслед. оз. Севан, ч. I, в. 2. 1932 г.

Таблица 7

Средние месячные расходы воды (м³/сек.) рек Севанского бассейна на основных гидрометрических постах

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средний годовой	Годовой сток, в млн. м ³
Р. Балык-чай, пост Чубухлы. $F = 85,9 \text{ км}^2$														
1927	0,018	0,017	0,019	2,46	3,98	0,53	0,104	0,075	0,142	0,064	0,130	0,054	0,63	20,1
1928	0,054	0,054	0,054	6,00	3,52	1,75	0,24	0,12	0,16	0,16	0,11	0,12	1,03	32,8
1929	0,12	0,12	0,12	4,97	5,52	1,53	0,37	0,08	0,12	0,26	0,10	0,11	1,12	35,3
1930	0,11	0,11	0,30	3,91	2,00	1,35	0,39	0,15	0,13	0,52	0,36	0,17	0,79	24,9
1931	0,17	0,17	0,17	3,81	5,61	1,86	0,81	0,69	0,29	0,19	0,20	0,14	1,18	37,2
1932	0,14	0,14	2,44	8,38	7,52	2,38	0,31	0,17	0,25	0,11	0,14	0,13	1,84	58,2
1933	0,13	0,14	0,14	2,37	4,82	3,43	0,16	0,08	0,08	0,15	0,17	0,16	0,99	31,2
1934	0,15	0,12	0,28	2,08	6,31	0,94	0,23	0,15	0,13	0,13	0,30	0,21	0,92	29,0
Среднее	0,11	0,11	0,44	4,25	4,91	1,72	0,33	0,19	0,16	0,20	0,19	0,14	1,06	33,6
Р. Кявар-чай, пост Норадуз. $F = 480,5 \text{ км}^2$														
1927	2,39	2,30	2,24	2,43	7,86	3,47	2,38	2,35	2,45	2,51	2,56	2,45	2,95	93,2
1928	2,39	2,32	2,48	10,08	4,93	2,63	2,18	1,96	2,10	2,49	2,50	2,40	3,20	101,2
1929	2,45	2,39	3,50	8,16	9,74	4,93	2,43	2,53	2,76	3,25	2,95	2,81	3,99	126,1
1930	2,72	2,70	2,88	4,19	5,18	3,93	2,74	2,63	2,63	3,08	2,88	2,85	3,20	101,0
1931	2,56	2,52	2,88	3,44	4,31	4,48	4,15	3,38	2,91	2,90	2,96	2,88	3,32	104,7
1932	2,82	2,80	3,00	5,16	8,26	6,62	2,88	2,83	3,36	2,80	3,03	2,95	3,88	122,7
1933	2,89	2,88	3,14	4,02	7,05	4,04	2,66	2,69	2,93	3,15	3,52	3,53	3,53	111,3
1934	3,20	3,12	3,18	3,33	7,13	4,74	3,45	3,52	3,27	3,24	3,25	3,15	3,72	117,3
Среднее	2,68	3,63	2,91	5,10	6,85	4,36	2,86	2,72	2,80	2,93	2,96	2,88	3,47	109,4
Р. Адиаман-чай, пост Верхний Адиаман. $F = 386,6 \text{ км}^2$														
1927	1,40	1,42	1,57	6,37	14,82	5,32	1,73	1,32	1,39	1,42	1,45	1,28	3,30	104,2
1928	1,33	1,29	1,35	22,08	14,92	4,85	2,03	1,75	1,82	1,84	2,02	1,76	4,75	150,0
1929	1,79	1,58	1,45	14,27	20,99	9,47	2,84	1,93	1,78	1,87	1,61	1,61	5,10	161,1
1930	1,52	1,53	1,61	7,12	8,58	4,97	1,54	1,29	1,34	1,49	1,33	1,42	2,81	88,3
1931	1,37	1,47	2,10	11,68	16,91	13,04	5,29	2,30	2,04	1,78	1,60	1,75	5,11	161,2
1932	1,55	1,65	1,62	15,15	23,48	15,60	6,88	4,20	3,37	1,85	1,61	1,50	6,54	206,8
1933	1,64	1,62	1,64	2,84	21,28	11,20	3,02	1,64	1,26	1,29	1,50	1,64	4,21	132,8
1934	1,89	1,89	1,95	6,07	19,77	7,57	3,53	1,77	1,57	1,51	1,47	1,47	4,20	132,5
Среднее	1,56	1,56	1,66	10,70	17,59	9,00	3,36	2,02	1,82	1,63	1,57	1,55	4,50	142,0
Р. Гезельдара, пост Нижняя Гезельдара. $F = 102,3 \text{ км}^2$														
1927	0,32	0,33	0,39	0,77	8,19	4,03	1,01	0,49	0,49	0,48	0,47	0,45	1,46	46,2
1928	0,38	0,37	0,35	2,76	5,49	3,86	0,88	0,54	0,49	0,39	0,43	0,44	1,36	43,1
1929	0,41	0,40	0,46	2,12	6,75	5,41	2,24	0,86	0,77	0,71	0,60	0,56	1,78	56,1
1930	0,44	0,44	0,44	1,11	3,43	3,56	0,51	0,31	0,33	0,54	0,39	0,39	0,99	31,3
1931	0,35	0,31	0,43	1,49	4,21	7,62	4,30	1,47	0,90	0,84	0,62	0,50	1,92	60,5
1932	0,59	0,57	0,53	1,39	5,54	9,17	3,46	0,87	0,90	0,60	0,47	0,52	2,05	64,8
1933	0,37	0,35	0,41	0,73	5,30	5,44	1,83	0,65	0,54	0,71	0,58	0,37	1,44	45,4
1934	0,53	0,54	0,68	0,70	2,09	2,86	1,21	0,66	0,56	0,55	0,56	0,54	0,96	30,3
Среднее	0,42	0,41	0,46	1,38	5,12	5,24	1,93	0,73	0,62	0,60	0,51	0,47	1,49	47,0
Проток из озера Гилли, устье. $F = 793,4 \text{ км}^2$														
1927	—	—	—	—	—	3,94	3,11	2,60	3,94	4,04	4,46	4,17	—	—
1928	2,99	2,39	2,99	9,29	7,75	3,03	1,87	2,96	4,06	4,04	4,45	4,29	4,16	131,4
1929	2,50	2,95	3,67	12,93	9,72	4,36	2,32	2,59	3,50	4,53	4,24	3,70	4,10	149,5
1930	1,94	2,29	7,11	7,90	6,20	2,84	1,91	2,23	3,44	5,02	4,76	3,63	4,75	129,7
1931	2,72	1,47	8,24	10,00	13,71	10,26	3,84	3,96	4,50	4,42	4,15	3,88	5,93	187,0
1932	3,62	5,12	7,53	7,01	12,23	8,14	3,80	3,72	5,07	4,45	5,83	3,63	5,84	184,6
1933	3,60	3,59	3,58	7,40	13,71	7,35	4,58	4,58	3,53	3,15	3,21	4,07	5,18	163,4
1934	3,94	3,78	4,73	5,31	5,48	4,52	1,83	2,03	2,54	2,44	2,57	2,37	3,46	109,1
Среднее	3,04	3,08	5,41	8,55	9,83	5,56	2,91	3,07	3,82	4,01	4,21	3,72	4,77	150,4

ческих постов, и тогда сток со всей учтенной нами площади представится в следующем виде (табл. 8).

Таблица 8

Элементы расчета	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934
Площадь водосбора, км ²	1 344	2 390	2 467	2 570	1 849	1 849	1 849	1 849
Годовой сток в створах постов, млн. м ³	310	583	706	539	551	637	484	418
Расход воды на орошение выше постов, млн. м ³	48	48	55	54	32	32	32	32
Естественный сток с водосборной площади, млн. м ³	358	631	761	593	583	669	516	450
Модуль стока, л/сек. с 1 км ²	8,5	8,4	9,8	7,3	10,0	12,0	8,9	7,7

Дальнейшая задача сводится к определению величины стока воды со всей остальной площади Севанского бассейна, для которой не имеется непосредственных наблюдений.

Естественный сток воды с этой площади за 1927—1930 гг. определен Б. Д. Зайковым двумя способами: методом гидрологических аналогий и методом изолиний стока. Первый основан на применении к отдельным неисследованным участкам бассейна тех модулей стока, которые получены для соседних и в гидрологическом отношении аналогичных участков. Второй способ потребовал построения карт изолиний годового стока за каждый из этих четырех годов. Опорными точками при проведении изолиний служили центры тяжести каждого из обследованных бассейнов, к которым и относится средний годовой модуль стока или годовой слой стока в миллиметрах, что представляет удобство при сравнении этой карты с картой изогийет и при вычислении коэффициентов стока.

Первый способ подсчета дал величину стока в среднем на 10% большую, чем второй. Результаты последнего, как более надежного, были приняты для окончательного расчета. Общая величина естественного стока со всей площади Севанского бассейна составила:

1927	716 млн. м ³ или 6,5 л/сек. с 1 км ²
1928	827 " " " 7,5 " " 1 "
1929	920 " " " 8,7 " " 1 "
1930	710 " " " 6,5 " " 1 "

Во второй период исследований, т. е. с 1931 по 1934 г., функционировало только 5 гидрометрических постов, поэтому проведение изолиний стока по пяти опорным точкам было бы мало надежным. С другой стороны, распределение полученных здесь модулей стока на соседние неисследованные участки дало бы преувеличенные результаты, так как эти участки расположены преимущественно в прибрежной зоне, где удельный сток значительно меньше.

Поэтому общий сток воды с Севанского бассейна за эти годы был исчислен путем предварительного определения удельного веса пяти рек в общем стоке со всего бассейна за предыдущие четыре года. Несмотря на значительные колебания в эти годы абсолютных величин стока, удельный вес этих рек оказался очень устойчивым: 0,59, 0,58 и 0,57. Среднее значение этого веса — 0,58 — принято и для последующих лет.

Такую устойчивость можно объяснить, во-первых, тем, что площадь бассейнов этих пяти рек составляет более половины всей площади Севанского бассейна и, во-вторых, тем, что они расположены в разных частях севанской котловины и характеризуют собой различные типы гидрологических районов.

С помощью этого коэффициента естественный сток со всей площади Севанского бассейна в эти годы определяется следующими данными:

1931	1005	млн. м ³ или	9,2	л/сек. с 1 км ²
1932	1153	" " "	10,5	" " 1 "
1933	890	" " "	8,1	" " 1 "
1934	776	" " "	7,1	" " 1 "

а в среднем за весь восьмилетний период с 1927 по 1934 г.—878 млн. м³ в год, или 27,8 м³/сек., или 8,0 л/сек. с 1 км².

В целях проверки этих результатов была построена новая карта изолиний стока с Севанского бассейна. К настоящему очерку она не приложена, но ее может частично заменить составленная нами карта стока всего Южного Закавказья в уменьшенном масштабе (см. приложение III). Предварительно пришлось привести все данные к восьмилетнему периоду. При приведении учитывалась не только территориальная близость к пяти основным постам (рр. Балык-чай, Кявар-чай, Адиаман-чай, Гезельдара и проток из озера Гилли), но и принадлежность их к тому или иному гидрологическому типу, так как только при наличии обеих условий приведение является достаточно надежным.

Для периода 1927—1934 гг. получены следующие величины среднего годового стока, которые и легли в основу построения карты.

Реки	л/сек. с 1 км ²	Реки	л/сек. с 1 км ²
Кявар-чай	7,7	Алучалу	7,0
Вали-агалу	15,2	Гедак-булаг и проток из оз. Гилли	6,8
Бахтак-чай	11,8	Сатанахач	7,3
Адиаман-чай	11,7	Джил (с родниками)	8,4
Гезельдара	15,7	Тохлуджа	5,4
Куру-чай	16,2	Балык-чай	12,4

Данные эти относятся к створам гидрометрических постов в устьевой части рек и содержат в себе поправку на разбор воды оросительными каналами.

На новой карте все изолинии сдвинуты ближе к центру бассейна и обнаруживают несколько больший сток, чем на карте Зайкова. Это и следовало ожидать, так как первое четырехлетие (1927—1930 гг.) не только на Севане, но и почти повсюду в Закавказье, было маловоднее второго (1931—1934 гг.).

Планиметрируя по новой карте изолиний те площади, для которых не имеется полных гидрометрических данных, получаем для них искомую величину среднего годового стока. Вместе с расходом пяти вышеуказанных рек общий сток воды со всего Севанского бассейна составляет за эти годы округленно почти ту же величину—880 млн. м³.

Расчет притока воды в озеро

Все приведенные данные относятся к естественному стоку с водосборной площади озера. Однако фактический приток воды в озеро должен быть несколько меньше, поскольку часть воды расходуется, как уже известно, на орошение, которое существует здесь с очень давних времен.

Общая площадь орошаемых земель составляет около 22 000 га со средним ежегодным потреблением воды в 66 млн. м³, причем величина этого расхода довольно постоянна.

Часть этой воды, не усвоенная растениями и не испарившаяся с поверхности почвы, в конечном счете поступает обратно или в русло рек ниже постов, или непосредственно в озеро поверхностным или подземным

путем. Но величина возвратных вод настолько незначительна, что ею можно пренебречь, тем более что при небольшом удельном весе оросительных вод в общем стоке Севанского бассейна ошибка от неправильного исчисления возвратных вод не может иметь существенного значения.

С другой стороны, исследования подземных вод в прибрежной зоне озера и в долине р. Занги позволяют сделать весьма вероятное допущение, что в питании некоторых родников, выходящих в этой долине у сел. Караван-сарай и Рандамал, принимает участие подземный сток с северных склонов Ахманганского хребта; поверхностный же сток с этого участка направлен в озеро. Хотя прямых подтверждений этого и не имеется, но ряд приводимых А. П. Соколовым¹ фактов убеждает в правильности такого предположения. Впоследствии величина этого подземного стока из бассейна Севана непосредственно в долину Занги была определена в среднем в 19 млн. м³ в год или 0,6 м³/сек.

Приняв в расчет указанные выше обстоятельства, определяем величину фактического притока воды в озеро:

Естественный сток с водосборного бассейна в среднем за 1927—1934 гг.	878 млн. м ³
Расход воды на орошение	66 " "
Подземный сток воды в долину р. Занги	19 " "
Фактический приток воды в озеро	793 " "

В отдельные годы приток составляет:

	млн. м ³		м ³ /сек.		мм слоя зеркала озера
1927	634	или	20,1	или	448
1928	744	"	23,6	"	525
1929	863	"	27,4	"	610
1930	623	"	19,8	"	440
1931	920	"	29,2	"	650
1932	1 068	"	33,9	"	754
1933	805	"	25,5	"	569
1934	691	"	21,9	"	488
Среднее за 1927—1934 гг.	793	"	25,2	"	568

Кроме годовых величин притока воды в озеро, необходимо знать распределение его по месяцам. Исчисление месячных сумм указанным выше способом, т. е. по ежемесячным картам изолиний, представляется и мало надежным и излишним. Можно допустить, что процентное распределение по месяцам притока воды в озеро со всей площади Севанского бассейна будет таким же, как с площади, охваченной непосредственными наблю-

Таблица 9

Месячный приток воды в озеро Севан

Измеритель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
В % от годового притока	4,4	4,4	5,7	15,0	26,8	13,7	5,9	4,7	4,8	4,9	5,0	4,7	100
В млн. м ³	35	35	45	119	214	109	46	37	38	39	39	37	793
В м ³ /сек.	13,3	13,3	17,2	45,3	80,9	41,4	17,8	14,2	14,5	14,8	15,1	14,2	25,2
В мм слоя зеркала озера	25	24	32	85	150	77	33	26	27	28	28	26	560

¹ А. П. Соколов. Подземный сток воды из оз. Севан. Мат. по исслед. оз. Севан и его бассейна, ч. I, вып. 4. Эривань, 1934 г.

дениями. Определить последний не представляет никакой трудности. Исходя из принятой ранее величины годового притока в 793 млн. м³, получаем следующие величины среднего месячного притока воды в озеро (см. табл. 9).

Подземный приток воды в озеро

В самом начале исследований нам пришлось столкнуться с широко распространенным мнением, что главное питание озера идет не поверхностным, а подземным путем. Но, как будет показано ниже, роль этого фактора в водном балансе озера незначительна.

Наблюдениями установлен целый ряд выходов родников в прибрежной зоне, но только часть этих родников может быть названа подводными, так как многие из них попеременно то затопляются, то обнажаются, в зависимости от высоты стояния уровня озера. Таковы, например, родники в районе развалин с. Куру-Хараба, около устья р. Адиаман-чай и близ селений Гедак-булаг и Загалу. В этих районах концы лавовых потоков обрываются почти на самом урезе берега, обнажая контакт с подстилающими породами. Это явление очень характерно для гидрогеологии всего Армянского вулканического нагорья, где родники обычно выходят на контакте двух различных пород или двух лав различного возраста.

Наиболее мощные выходы подводных родников следовало бы ожидать в северо-западной части озера, от с. Севан до устья р. Кявар-чай, так как во всем этом районе нет постоянной речной сети, и весь он сложен трещиноватыми лавами.

Принимая во внимание, что в подобных геологических условиях поверхностный сток составляет обычно 20—30% всего годового стока воды, мы допускаем, что и здесь четвертая часть его стекает прямо в озеро весной во время интенсивного снеготаяния и летом после сильных ливней, а остальная часть идет в озеро подземным путем. По ориентировочным подсчетам путем планиметрирования карты изолиний стока, подземный приток воды в озеро на этом участке должен составлять около 0,25 м³/сек. Но выходы родников, притом с очень малым дебитом, обнаружены лишь около с. Айриванк и к западу от устья р. Кявар-чай. Естественно предположить, что главная масса подземных вод выходит ниже или на урезе воды. Правда, ни температурные, ни гидрохимические наблюдения в придонном слое вдоль этого побережья не обнаружили подземных вод, но при значительной протяженности береговой линии и рассеянности точек выхода этих вод самый метод работ мог иметь лишь случайный успех.

Правильнее всего будет допустить, что подземный сток воды направлен в озеро со всех межустьевых пространств и участков, лишенных гидрографической сети, но этот сток уже учтен при планиметрировании карты изолиний.

Такой вывод будет, конечно, неверен, если допустить, что в створах гидрометрических постов наблюдается значительный подрусловый сток, совершенно не учитываемый при определении расхода воды. Это означало бы, что действительные модули стока больше тех, которые мы принимаем как для отдельных речных бассейнов, так и для всей всей севанской котловины. Однако, большинство створов лежит в предустьевых частях рек, почти на уровне базиса эрозии, каким является в данном случае уровень озера. При этих условиях недоучет стока едва ли может быть значительным. В противном случае модули стока частых речных бассейнов не укладывались бы в довольно стройную схему изолиний.¹

¹ С этой точки зрения не вполне объясним заниженный модуль стока лишь на р. Алу-чалу. Здесь возможен некоторый недоучет стока в силу технических условий гидрометрических работ на этой реке.

Нельзя также допустить, что значительная часть подземного стока идет более глубокими путями и выходит на дне озера. Против этого говорят гидрогеологические исследования Академии наук СССР в бассейне Севана, результаты которых обобщены в очерке С. С. Кузнецова. Кроме того, можно привести и ряд теоретических соображений.

На рис. 13 даны три схематических профиля подземных вод в прибрежной зоне при различных случаях стратификации пород.

В первом и наиболее простом случае склоны озерной мульды образованы водоупорными породами, по которым весь сток в озеро идет поверхностным путем.

Во втором и наиболее частом случае на водоупорной породе лежат трещиноватые или пористые отложения, уходящие под уровень озера. Примером может служить весь западный берег, сложенный лавами, и многие участки Шахдагского хребта, где развиты прибрежные галечные и щебенистые отложения.

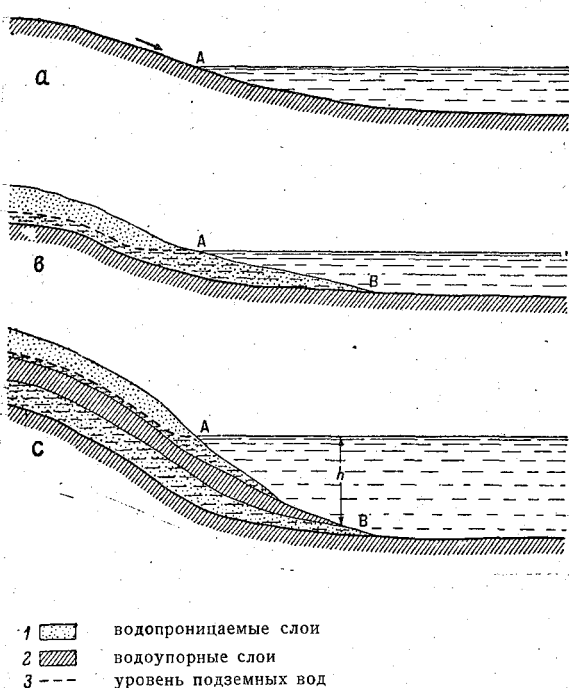


Рис. 13. Схемы залегания подземных вод в прибрежной зоне.

В этом случае поверхностные воды, проникшие через верхний горизонт до водоупорного пласта, будут стекать по нему, пока не дойдут до линии, лежащей на одном уровне с озером. Дальше горизонт подземных вод будет совпадать с уровнем озера независимо от водоупорных свойств донных отложений самого озера. Местом выхода подземных вод будет не точка В под водой (см. рис. 13b), а точка А на самом ее уресе. Признаком этих выходов часто будет служить местное заболачивание берега.

Наконец возможен третий случай, когда мы будем иметь дело с напорными водами, заключенными между двумя водонепроницаемыми горизонтами (см. рис. 13c). Но и в данном случае выход подземных вод ниже уровня озера возможен лишь в том случае, если выстилающие его дно грунты недостаточно водоупорны. Тогда поступающие сверху воды, заполнив до отказа весь нижний водоносный слой, найдут себе выход в точке В. При достаточно же плотных озерных грунтах, что обычно и наблюдается, эти напорные воды найдут себе выход где-либо выше линии уреза воды, на берегу.

Нам известен лишь один пример наличия на берегу Севана напорных вод. При бурении близ с. Мартуни, производившемся в 1930 г. изыскательской партией Закавказского управления речного транспорта, были обнаружены напорные воды ниже уровня озера, причем высота напора составляла 7 м, и некоторое время происходило самоизлияние воды из буровой скважины.

Трудно сказать, имеют ли эти воды естественный выход на дне озера, но присутствие родников Карасу в 1,5—2,0 км выше того места, где

производилось бурение, говорит скорее против этого. Невольно напрашивается предположение, что эти напорные воды, запертые снизу плотными грунтами озера, нашли себе выход выше в виде именно этих родников Карасу.

С другой стороны известны выходы родников на самом берегу озера, близ устья р. Адиаман-чай, то затопляемые, то обнажаемые, в зависимости от высоты стояния уровня озера. Кроме того, нельзя не считаться и с показаниями местного населения о наличии подводных родников в районе с. Загалу.

Учитывая все эти факты мы заключаем, что основная часть надземного питания озера выходит на самом урезе воды. Незначительная часть подземного стока может кое-где проникать в озеро подводным путем, но лишь в прибрежной зоне. Возможность же выхода вод в более глубоких горизонтах, где дно озера выстилается мощным слоем тяжелых водоупорных грунтов, должна быть отвергнута.

Какова же величина подводного питания озера и полуподводного, т. е. в случае выхода грунтовых вод непосредственно на урезе воды?

По карте изолиний стока общая величина притока воды в озеро с так называемых „бессточных“ участков может быть определена ориентировочно в $1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$. Часть этого расхода скатывается непосредственно в озеро в виде весенних и ливневых вод, остальная часть составляет грунтовое или подземное питание. Размеры его в процентном отношении к общему годовому стоку могут быть определены для различных гидрологических районов по гидрографам рек, типичных для данного района. Заметим кстати, что процент грунтового питания севанских рек колеблется от 20 до 80 в зависимости от геологических условий.

Применяя различный коэффициент грунтового стока или, что то же, коэффициент естественной зарегулированности стока, к разным участкам „бессточных“ площадей, определяем вероятную величину подземного притока воды в озеро в $0,8 \text{ м}^3/\text{сек}$.

По отношению к общей величине притока воды в озеро это составляет около 3%. Более точное определение этой величины не имеет практического значения, так как она уже входит в ранее определенную нами величину всего притока воды в озеро.

Колебания годового притока и многолетние нормы

Все предыдущие выводы были основаны на наблюдениях 8-летней продолжительности. Средняя величина годового притока воды в озеро 793 млн. м^3 в отдельные годы колебалась от 623 до 1068 млн. м^3 . Поэтому возникает вопрос о соответствии полученных нами средних величин многолетней норме.

В упомянутом выше очерке Б. Д. Зайкова имеется несколько попыток определения этой нормы. На основании сопоставления стока с количеством осадков в зимние месяцы он получил среднее значение естественного стока за 29-летний период в $27,0 \text{ м}^3/\text{сек}$., что соответствует фактическому притоку воды в озеро в $24,3 \text{ м}^3/\text{сек}$., или 769 млн. м^3 в год. У этого же автора находим сопоставление стока в Севанском бассейне за 4 года со стоком в верховьях р. Занги, которые находятся приблизительно в одинаковых климатических условиях. Дополняя его данными последних лет, мы строим график зависимости между притоком воды в озеро и средними годовыми расходами воды р. Занги на посту Кахсы, за вычетом того количества воды, которое поступает из озера (рис. 14).

Новые данные, за исключением 1932 г., ложатся на ту же кривую связи, что дает право восстановить по ней приток воды в озеро допол-

нительно еще за шесть предшествующих лет, в течение которых велись наблюдения на посту Кахсы.

Таким образом получается следующий ряд данных 14-летней продолжительности:

1914 . . .	23,3 м ³ /сек.	1928 . . .	23,6 м ³ /сек.
1915 . . .	32,8 "	1929 . . .	27,4 "
1916 . . .	20,5 "	1930 . . .	19,8 "
1917 . . .	20,2 "	1931 . . .	29,2 "
1925 . . .	21,2 "	1932 . . .	33,9 "
1926 . . .	24,6 "	1933 . . .	25,5 "
1927 . . .	20,1 "	1934 . . .	21,9 "
Среднее за 14 лет		24,6 м ³ /сек.	

Оба способа подсчета дают почти одинаковые величины: 24,3 и 24,6 м³/сек. Первый способ имеет преимущество в количестве лет, но основан на менее надежной зависимости годового стока от зимних осадков; второй способ, наоборот, основывается на вполне надежных данных, но меньшей продолжительности. Среднее значение этих величин мы и принимаем за многолетнюю норму годового притока воды в озеро. Это составляет 770 млн. м³ в год, что соответствует слою воды на зеркале озера в 544 мм.

Эта величина, весьма близкая к средней за 8 лет, может быть по аналогии с ней распределена по месяцам следующим образом:

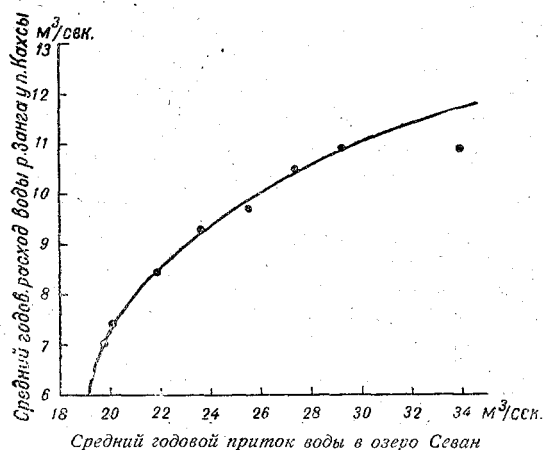


Рис. 14.

Месяцы	В млн. м ³	В мм слоя
I	34	24
II	34	24
III	44	31
IV	116	82
V	206	146
VI	105	74
VII	45	32
VIII	36	26
IX	37	26
X	38	27
XI	39	27
XII	36	25
За год	770	544

Вышеприведенные наблюдения дают также возможность подсчитать вероятные колебания притока и судить о степени его обеспеченности.

Расположив средние годовые величины притока воды в озеро в порядке их убывания (табл. 10), определяем: 1) их модульные коэффициенты k , т. е. отношение величины притока данного года к средней многолетней величине, и 2) соответствующий им процент обеспеченности P по уже известной формуле:

$$P = 100 \frac{m - 0,5}{n}$$

Коэффициент вариации для 14-летнего ряда составляет 0,193, что приближает сток в бассейне Севана к стоку сильно зарегулированных рек с озерным питанием. Это объясняется, главным образом, сильным распространением здесь трещиноватых и пористых лав, этих естественных регуляторов стока.

На основании данных, приведенных в табл. 10, построена кривая обеспеченности годового притока воды в озеро (рис. 15).

Верхним пределом вероятных колебаний притока можно принять вели-

чину в 40,0 м³/сек. или 1262 млн. м³ в год. Нижним пределом колебаний является 19,7 м³/сек. или 622 млн. м³.

Таблица 10

№ п/п.	Годы	Средний годовой приток м ³ /сек.	Модульный коэффициент <i>k</i>	% обеспе- ченности <i>P</i>
1	1932	33,9	1,38	4
2	1915	32,8	1,33	11
3	1931	29,2	1,19	18
4	1929	27,4	1,11	25
5	1933	25,5	1,04	32
6	1926	24,6	1,00	39
7	1928	23,6	0,96	46
8	1914	23,3	0,95	54
9	1934	21,9	0,89	61
10	1925	21,2	0,86	68
11	1916	20,5	0,83	75
12	1917	20,2	0,82	82
13	1927	20,1	0,81	89
14	1930	19,8	0,80	96

На той же кривой находим и другие данные, необходимые для характеристик обеспеченности годового притока воды в озеро:

на 10%	обеспечен	средний приток в 40 м ³ /сек. или 1262 млн. м ³ в год
" 100%	"	" " " " 32,2 " " 1013 " " " "
" 250%	"	" " " " 27,5 " " 866 " " " "
" 500%	"	" " " " 22,2 " " 700 " " " "
" 750%	"	" " " " 20,5 " " 645 " " " "
" 900%	"	" " " " 19,9 " " 626 " " " "
" 990%	"	" " " " 19,7 " " 622 " " " "

Коэффициент стока

В заключение настоящей главы, приводим некоторые данные о соотношении между осадками, стоком и испарением с площади севанского водосбора.

Результаты фактических наблюдений и планиметрирования по картам изогийет и изолиний стока даны в табл. 11. Здесь приведены данные по 12 частным бассейнам и по всей водосборной площади озера Севан. Бассейны р. Гедак-булаг и озера Гилли пришлось объединить с бассейном озер Алагель, поскольку ранее была установлена связь между их подземными водами. При сличении карты осадков и стока еще раз подтвердилась необходимость существования подземного стока из бассейна озер Алагель для равновесия местного водного баланса.

Коэффициент стока в целом для водосборной площади озера Севан составляет 0,42, а для отдельных притоков колеблется от 0,31 до 0,69.

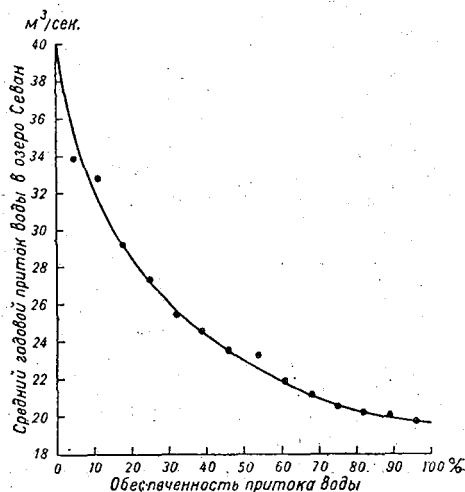


Рис. 15.

Таблица II

Река	Площадь бассейна км ²	Средняя высота бассейна м	Осадки	Сток	Испарение	Коэффициент стока
			Миллиметры слоя			
Кявар-чай	480	2 436	654	244	410	0,37
Вали-агалу	69	2 573	701	448	253	0,64
Бахтак-чай	163	2 520	683	371	312	0,54
Адиаман-чай	387	2 467	637	367	270	0,58
Куру-чай	84	2 748	736	511	226	0,69
Гезельдара	102	2 711	768	494	274	0,64
Алучалу	72	2 541	620	221	399	0,36
Гедак-булаг, оз. Гилли и оз. Алагель	1 048	2 415	581	215	366	0,35
Сатанахач	10	2 541	586	229	357	0,39
Джил	13	2 410	635	265	370	0,42
Тохлуджа	40	2 236	550	170	380	0,31
Балык-чай	86	2 224	652	391	261	0,60
Вся водосборная площадь оз. Севан (без зеркала озера)	3 475	2 388	598	251	347	0,42

Заранее можно сказать, что величина коэффициента будет возрастать с увеличением средней высоты бассейна. Кривая на рис. 16 подтверждает эту зависимость. Правда, в разных участках Севанского бассейна она

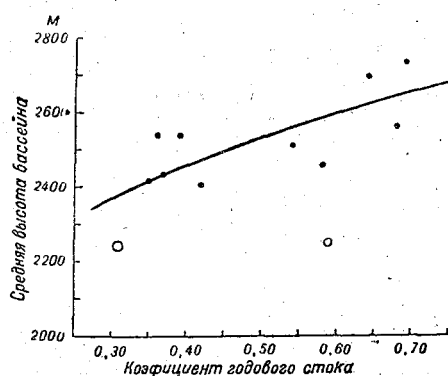


Рис. 16.

неоднородна, и точки на графике ложатся рассеянно. Как и по другим физико-географическим признакам, северное побережье озера занимает здесь совершенно особое положение. Поэтому точки, соответствующие рр. Балык-чай и Тохлуджа, выделены на графике особо.

Указанные выше коэффициенты стока являются осредненными величинами для всей площади того или иного частного бассейна. В действительности амплитуда колебаний этого коэффициента значительно больше. Если, например, сопоставить карты осадков и стока (см. приложения II и III), то в прибрежной полосе, где среднее годовое количество осадков со-

ставляет ориентировочно 400 мм, сток в среднем равен 60 мм. Это соответствует коэффициенту стока 0,15. С другой стороны, в самых верхних зонах бассейна, при величине осадков в 800—900 мм, слой стока колеблется в пределах 600—800 мм. Иначе говоря, коэффициент стока доходит здесь до 0,75—0,85.

Такое возрастание коэффициента стока с высотой является вполне закономерным, так как ему способствует и уменьшение дефицита влажности воздуха и удлинение зимнего сезона года, что вызывает общее уменьшение потери влаги на испарение, и возрастание уклонов местности.

На основании сопоставления карт осадков и стока мы смогли построить, правда довольно схематично, карту годовой величины испарения с площади бассейна Севана (рис. 17). Опорными точками для построения этой карты служили геометрические центры частных речных

бассейнов и ряд дополнительных пунктов, в которых величина испарения определялась по разности: „осадки“ минус „сток“.

Заметим кстати, что величина испарения является фактором более устойчивым, так же как и средняя температура воздуха, и в пространственном отношении подвергается более равномерным изменениям. Поэтому карта испарения сама по себе может служить контролем к первым двум картам—осадков и стока. Всякая значительная ошибка в определении одного из этих элементов тотчас нарушает нормальный ход изолиний испарения. В некоторых частных случаях мы и использовали этот дополнительный метод контроля.

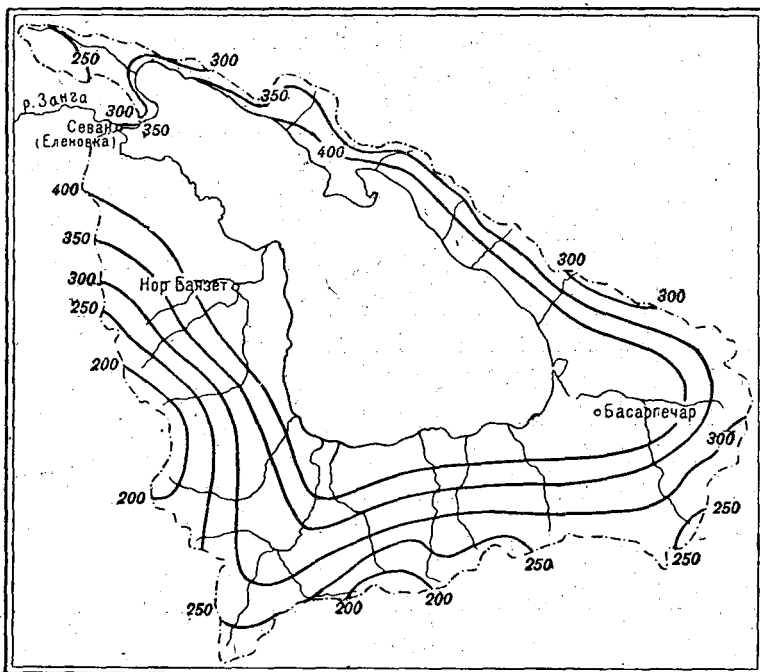


Рис. 17. Схема распределения годовой величины испарения с площади бассейна оз. Севан (в миллиметрах).

При анализе всех трех карт (осадков, стока и испарения) можно убедиться в том, что расход воды в низовьях р. Алучалу недоучтен на гидрометрическом посту. Повидимому, то же явление имеет место и на р. Тохлудже. С другой стороны, можно предполагать, что р. Вали-агалу получает дополнительное питание подземным путем из соседнего бассейна р. Кявар-чай. В геологических условиях этого района, залитого новейшими лавами, вполне вероятно несовпадение орографических границ с границами подземного стока. Однако полная увязка изолиний осадков и стока на этих картах во всех точках явилась бы весьма сложной задачей.

IV. РАСХОД ВОДЫ ИЗ ОЗЕРА

Поверхностный сток

Истоком из озера является р. Занга. В верхнем и среднем течении она проходит по контакту более древних пород—туфогенных порфиров и известняков—на правом берегу с молодыми андезито-базальтами на левом. Это наводит на мысль, что ахманганские лавы, стекая в долину

Занги, отнесли русло реки вправо, к самому подножью Памбакского хребта. Местами лавовые языки даже перепрудили русло реки и перешли на правый берег.

Такую картину представляет долина р. Занги в геологическом отношении. Но еще характернее ее продольный профиль (рис. 18). На всем протяжении от истока до г. Еревана он образует ряд ступеней. Вслед за пологими участками с расширенной долиной следуют глубокие ущелья с большим уклоном и с руслом, загроможденным крупно-обломочным материалом.

Известную роль в образовании такого профиля могли, конечно, сыграть тектонические сбросы,¹ разбившие долину реки на ряд крупных, последовательно осевших блоков. Но вероятнее будет предположить, что потоки лавы в нескольких местах преградили путь реке, создали ряд подпертых участков, через которые река прорвалась в лавовых теснинах. Аналогичные явления можно наблюдать во многих районах Армянского вулканического нагорья.



Рис. 18. Продольный профиль р. Занги.

Верхнюю ступень продольного профиля р. Занги образует участок длиной 3 км от истока до развалин б. монастырской мельницы. Здесь река образует небольшой перепад высотой всего около 1 м. Несколько ниже, у с. Чирчир, река падает с высоты 17 м и впервые вступает в ущелье. Она пилит лавовую толщу, заполнившую древнюю долину. Обнаружить последнюю нетрудно, так как тотчас за водопадом выступают коренные берега реки, образованные порфиритами.

Напрашивается вывод, что лавовый поток, заливший всю долину между северными склонами Ахмангана и Памбакским хребтом и заполнивший русло Занги в ее верховье, послужил запрудой и для озера Севан, и его современный горизонт оказался, таким образом, подпертым.

Это предположение ни в какой мере не противоречит теории тектонического происхождения севанской котловины. Наоборот, оно примиряет ее с фактами, говорящими о запрудном происхождении современного озера. Следует только помнить, что излияния ахманганских лав составили последнюю страницу в геологической истории Севано-Зангинской долины, созданной много ранее тектоническими процессами.

¹ С. С. Кузнецов. Геоморфологический очерк бассейна оз. Севан. Изв. Ак. наук. 1930

Таким образом в жизни р. Занги можно наметить три периода. Первый — когда река вытекала из озера, имея порог стока ниже современного, предположительно, на 10—15 м. Соответственно этому площадь озера и количество потерь воды на испарение были тогда меньше, чем в настоящее время, и для равновесия между приходом и расходом воды в озере Занга должна была выносить из озера больше воды, чем сейчас.

Второй период наступил с момента излияния лавы и образования запруды. В это время поверхностный сток должен был совершенно прекратиться, и могло иметь место лишь просачивание воды через естественную лавовую плотину. Уровень озера постепенно повышался, вследствие постоянного избытка в приходной части его водного баланса, пока не дошел до современного порога стока.

С этого времени начинается третий период. Озеро вновь получает поверхностный сток, и устанавливается новое равновесие между приходом и расходом воды. Но поверхностный сток часто прерывается, тогда уровень озера после ряда засушливых лет временно падает и восстанавливается в более влажные периоды.

Однако еще с незапамятных времен сток из озера искусственно регулировался человеком, и сейчас трудно даже сказать, является ли современная Занга в своем верховье естественным истоком из озера, или она искусственного происхождения.

Если не регулировать выпуск воды из озера и сохранить современный поперечный профиль истока, то достаточно повысить уровень озера на 1 м против его нынешнего среднего положения, чтобы вызвать исключительный паводок на р. Занге, а при повышении уровня на 2,0—2,5 м озеро в нескольких местах перельется через гребень берегового вала. Наоборот, при понижении уровня на 0,5—0,7 м поверхностный сток совершенно прекратится. Между тем известно, что он существовал, хотя и в очень небольших размерах, в годы с еще более низким уровнем.

Вследствие искусственного регулирования стока нельзя говорить о постоянной зависимости расходов р. Занги от уровня озера. Эту зависимость можно установить только для отдельных промежутков времени, в течение которых порог стока не изменялся, например с 1914 и почти до конца 1917 г. Но уже в конце 1917 г., вследствие недостатка воды на лежащих ниже мельницах, исток был углублен, и прежняя связь между уровнем озера и расходом воды в реке нарушилась. Были даже годы, когда вода из озера выпускалась по другому, вырытому рядом каналу, и одновременно работали оба русла.

До последнего времени колебания расходов воды у истока Занги были все же относительно небольшими. Но в 1931 г. в связи с расчисткой русла сток был временно почти прекращен, а со следующей осени начались подготовительные работы по пропуску около 60 м³/сек. воды для севано-зангинской энергетическо-ирригационной системы, и с тех пор говорить о естественном режиме стока воды из озера уже не приходится.

В табл. 12 приведены фактические данные о средних расходах воды на р. Занге у самого истока.

Что касается предыдущих лет, то для них можно привести лишь несколько отрывочных данных из литературных и архивных источников:

1861 (дата неизвестна)	1,0 м ³ /сек.
1889 средний за время с 10 VII по 15 IX	0,43 "
1893 8 августа	0,19 "
1895 13 апреля	0,05 "
1895 средний за время с 13 IV по 13 IX	0,02 "
1895 максимум за то же время	0,18 "
1919 средний из 5 расходов в августе, сентябре и ноябре	1,03 "

Таблица 12

Расход воды р. Занги у истока (в м³/сек.)

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средний годовой
1914	0,19	0,14	0,14	0,74	2,37	4,59	6,37	6,36	4,95	3,17	2,07	1,89	2,75
1915	1,34	1,07	1,42	2,74	4,68	6,25	6,11	6,08	5,67	4,99	4,23	2,50	3,95
1916	1,92	1,20	1,42	2,33	4,07	4,98	4,60	3,31	2,96	2,25	1,05	0,30	2,53
1917	0,11	0,06	0,06	0,25	0,99	1,45	1,78	1,33	1,18	0,86	0,44	0,15	0,72
1926	1,01	0,85	0,72	0,91	1,44	1,76	1,32	0,94	1,04	1,30	1,16	0,85	1,11
1927	0,49	0,50	0,45	0,56	1,31	1,53	1,56	1,32	1,06	1,00	1,05	0,60	0,95
1928	0,29	0,27	0,43	0,76	1,54	2,11	1,62	1,44	1,10	1,29	1,67	1,46	1,16
1929	1,15	0,94	1,00	1,42	2,58	3,45	3,19	1,88	2,11	1,76	1,82	1,57	1,91
1930	1,24	0,95	0,88	1,43	2,14	2,55	1,95	1,91	1,78	1,83	1,67	1,29	1,64
1931	0,58	0,43	0,46	0,91	2,63	0,31	0,01	0,01	0,01	0,01	0,31	0,27	0,47
1932	0,24	0,20	0,17	0,26	0,30	0,51	0,63	0,15	2,52	2,04	2,68	2,23	0,99
1933	1,74	1,77	1,93	2,24	3,24	1,40	7,94	11,50	9,15	6,58	4,79	3,76	4,67
1934	5,16	5,03	4,62	1,36	0,00	4,07	10,30	9,25	7,08	4,86	3,89	3,59	4,93
Среднее за все время наблюдений	1,19	1,03	1,05	1,22	2,10	2,69	3,64	3,50	3,12	2,46	2,06	1,60	2,14
Среднее за 1927—1934 гг. . .	1,36	1,26	1,24	1,12	1,72	1,99	3,40	3,43	3,10	2,42	2,24	1,85	2,09
То же в милли- метрах слоя зер- кала озера	3	2	2	2	3	4	6	6	6	5	4	3	46

В общем можно считать, что в конце прошлого столетия одновременно с более низким стоянием уровня озера расход воды из него был меньше современного, однако у А. А. Жилинского¹ имеется следующее указание: „В 50-х годах, когда горизонт озера был почти на сажень выше уровня воды 1889 года, в Зангу шло так много воды, что переезжать через нее было опасно. Нивелировка берега Гокчи у истока Занги показала, что при том горизонте, какой был, по показанию жителей, в 50-х годах, расход воды, переливавшейся через низменный берег озера, составлял 4,60 куб. саж. в секунду. Но затем горизонт Гокчи стал понижаться и в 60-х годах упал так низко, что монахи Севанского монастыря, имевшие мельницу на Занге, должны были прорыть из озера в русле Занги искусственный канал для питания этой реки“.

Вышеуказанная величина расхода вызывает у нас большое сомнение. Точно так же и даты стояния высокого и низкого уровня озера не совпадают с графиком его многолетних колебаний (см. рис. 11).

При таких условиях невозможно говорить о сколько-нибудь надежной многолетней норме стока воды из озера, так как именно этой нормы не существует. Но для вывода среднего многолетнего водного баланса необходимо принять хотя бы приближенную величину. Такой могла бы служить средняя величина стока за 1914—1917 и 1926—1930 гг., т. е. за 9 лет, в течение которых естественный сток из озера сравнительно мало нарушался искусственным вмешательством человека. Средняя годовая величина этого стока составляет 1,85 м³/сек. или около 60 млн. м³ в год. Однако, поскольку уровень озера в это время стоял выше среднего многолетнего, и эти годы сравнительно с концом прошлого века являются более многоводными, то осторожнее будет несколько снизить эту величину и принять округленно за „норму“ многолетнего стока воды из озера 50 млн. м³ в год, что равносильно слою воды на зеркале озера в 35 мм.

¹ Очерк работ экспедиции по орошению на юге России и Кавказа. 1892 г.

Что касается внутригодичного распределения многолетнего стока, то его также нельзя установить вполне достоверно, поскольку естественный режим стока нарушался неоднократно в разное время года.

Для условий ненарушенного или, вернее, мало нарушенного режима внутригодичное распределение поверхностного стока воды из озера можно охарактеризовать по 9-летним наблюдениям, дающим возможность установить нормальное процентное отношение среднего стока за каждый месяц к среднему стоку за год.

Распределение по месяцам принятой нами многолетней нормы годового стока в 50 млн. м³ дано в табл. 13.

Таблица 13

Измеритель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
%	4,6	2,9	3,2	5,5	10,5	14,2	14,1	12,2	10,8	9,1	7,5	5,4	100
млн. м ³ . . .	2,3	1,4	1,6	2,7	5,3	7,1	7,1	6,1	5,4	4,6	3,7	2,7	50
мм слоя . . .	1	1	1	2	4	5	5	4	4	3	3	2	35

Подземный сток

Одной из наиболее трудно разрешимых задач водного баланса озера Севан является вопрос о подземном стоке. Этому вопросу было уделено мало внимания как в прошлом, так и в последние годы, причем различные исследователи приходили иногда к противоположным выводам.¹ Одни совершенно отрицали всякую возможность фильтрации воды из озера, другие допускали существование ее, но в очень небольших размерах, наконец, третьи склонны были объяснять ее наличие многочисленных и мощных родников не только в долине р. Занги, но и в других пониженных участках Ереванской котловины. В частности, существовало очень распространенное мнение о том, что озеро Севан дает питание Крх-булагским родникам, откуда берет начало ереванский водопровод. Высказывались опасения, что с понижением уровня озера не только иссякнет этот исключительный по своим качествам источник питьевой и промышленной воды, но сильно упадет расход р. Занги, которая в значительной мере питается родниками.

Не останавливаясь здесь на истории всех исследований по вопросу о фильтрации воды из озера, можно ограничиться изложением лишь основных выводов, к которым привели работы Севанского бюро.

Прежде всего было обследовано все побережье озера Севан для выяснения наличия контакта подземных вод с водами озера. Исследования показали, что только на берегу Ордаклинской и Еленовской бухт уровень подземных вод имеет уклон в направлении от озера. Химические свой-

¹ Из работ последнего времени отметим:

А. П. Соколов. К вопросу о фильтрации воды из оз. Севан. Бюллетень Севанского гидромет. бюро, 1928, № 4 и 1929, № 78.

С. С. Кузнецов. О гидрогеологии бассейна оз. Севан. Ак. наук. Серия „Басс. оз. Севан“, т. III, в. 1. 1930 г.

А. А. Турцев. Гидрогеологический очерк бассейна р. Занги. Ак. наук. Труды Совета по изуч. произв. сил. Серия Закавказская, вып. 1. 1931 г.

А. П. Соколов. Подземный сток воды из оз. Севан. Матер. по иссл. оз. Севан и его бассейна, ч. 1, вып. 4. Лнгр., 1934 г.

К. Н. Паффенгольц. Бассейн оз. Гокча. Труды Всесоюзн. Геол.-разв. упр., вып. 219. 1936.

ства этих вод и характер колебаний их уровня подтверждают их связь с озером.

Далее были обследованы выходы подземных вод за пределами Севанского бассейна — на северных и западных склонах Ахманганского хребта и на северо-восточных склонах Шахдагского. Особенное внимание было уделено долине р. Занги и в первую очередь многочисленным мелким родникам на ее левом берегу от истока до с. Севан (Еленовки).

Сейчас уже не остается никаких сомнений в озерном происхождении последней группы родников. Наличие в некоторых из них сероводорода, что долгое время смущало исследователей,¹ стало понятным после исследования донных отложений озера. Среди них особенно широкое распространение имеет черный ил с сильным запахом сероводорода.²

Размеры фильтрации воды из озера в этом районе сравнительно легко определяются по разности расходов воды в р. Занге на двух створах: один из них расположен у самого истока реки, другой — в 3 км ниже, у развалин старой монастырской мельницы. Среднюю годовую величину подземного притока воды из озера на этом участке можно принять в 0,3 м³/сек.

Далее по течению, вплоть до устья р. Маман-чай (Мисханка), р. Занга не только не принимает слева ни одного родника, но местами даже теряет небольшое количество воды. На таких участках река как бы „висит“ в ещё не пропиленной ею толще лав, и горизонт подземных вод лежит здесь ниже уровня воды в реке.

Но у сел. Рандамал и Каравансарай, в 18 км от истока и почти на 150 м ниже уровня озера, вновь появляются на берегу реки такие обильные родники, что их нельзя рассматривать как обычный выход на дневную поверхность подземных вод. Для этого пришлось бы допустить либо невероятной большой модуль стока, либо такую водосборную площадь, которой нет на левом берегу Занги, приток же с правого берега совершенно исключается, как по геологическим, так и гидрологическим условиям.

С другой стороны, химический анализ воды этих родников показывает их резкое отличие от всех остальных подземных вод не только ближайшего района, но и всей обследованной части Армении. Вместе с тем он обнаруживает поразительное сходство этих вод с водами Севана, если не в отношении абсолютного содержания химических компонентов, то по их процентному соотношению и общему характеру химизма.

Родниковые воды Ахмангана и покрытых лавами нагорий Армении, как правило, очень слабо минерализованы, воды же Севана при общей минерализации свыше 0,5 г на 1 л отличаются резко выраженной химической индивидуальностью. В основном эти воды щелочного характера; преобладают углекислые соли, и, что особенно характерно, сильно выражена их магниальность.

Химический состав воды озера можно охарактеризовать в среднем следующими основными данными:

	мг/л		мг/л
Сухой остаток солей . . .	552	Mg	56
Cl	62	Ca	33
K	21	HCO ₃	415
Na	77	CO ₃	36

щелочный резерв (HCl 0.1 N) 80 см³

Допустим теперь, что эти воды, просачиваясь через толщу трудно растворимых андезито-базальтов, по пути смешиваются с местными под-

¹ О. Т. Карапетян. Геологический очерк СССР Армении. Тифлис, 1930.

² С. Я. Лятти. Грунты оз. Севан. Материалы по исследованию оз. Севан, ч. IV, в. 4. 1932 г.

земными водами очень слабой минерализации. В результате этого смешения должна получиться вода почти того же химического состава, но с меньшей концентрацией солей. Именно к такому типу вод и принадлежат Каравансарайские и Рандамальские родники. Для сравнения на рис. 19 даны основные химические показатели трех типов вод: 1) озера Севан, 2) „нормальных“ подземных вод гидрометеорного происхождения, встречающихся в лавах Ахманганского хребта (для примера взят родник в с. Башкенд из группы Крх-булаг), и 3) одного из наиболее типичных родников в с. Рандамал, образованного смешением фильтрационных вод озера с местными подземными водами. Характерные химические свойства севанских вод выступают на этом графике достаточно наглядно.

Ни в одном из многочисленных родников среднего и нижнего течения Занги, а тем более других районов, не наблюдается подобного соотношения между основными химическими компонентами. По своему химиче-

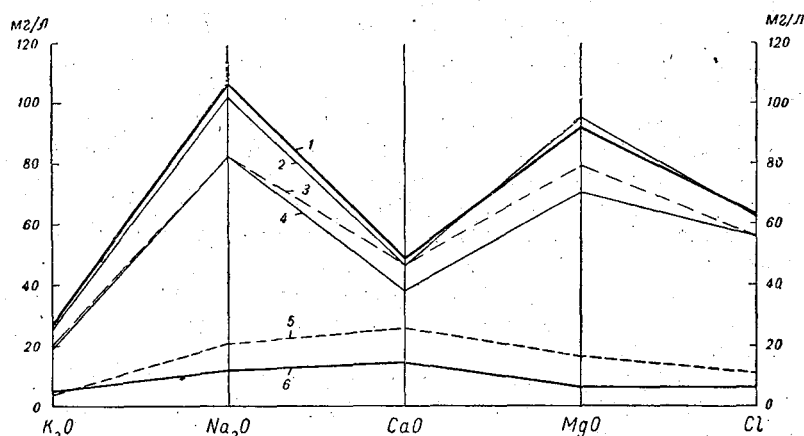


Рис. 19. Основные показатели химического состава воды озера Севан и некоторых родников.

1—озеро Севан; 2—родник в с. Севан; 3—родник в с. Рандамал; 4—родник в с. Каравансарай; 5—родник у г. Нор-Баязета (р. Кявар-чай); 6—Крх-булаг (ереванский водопровод).

скому составу Севан является совершенно оригинальным водоемом, и только это обстоятельство и позволяет пользоваться химическим методом для решения вопроса о подземном стоке из озера. Поэтому достаточно было провести анализ воды Крх-булагских родников, чтобы установить отсутствие всякой связи их с озером. Исследование же их дебита, термических свойств и условий выхода со всей очевидностью подтвердило их местное происхождение. Существование Крх-булагских родников, равно как и всех остальных родников этого района, в полной мере объясняется местным балансом влаги. Если бы эти воды не выходили здесь на дневную поверхность, то их следовало бы искать где-нибудь ниже в Араратской долине.

Вернемся теперь к величине подземного стока воды из озера.

Если в отношении Еленовского участка размеры фильтрации определяются сравнительно легко по разности расходов воды в Занге на двух постах, то на втором участке фильтрации эта задача значительно сложнее.

Дебит родников, выходящих в селениях Рандамал и Каравансарай, составляет в среднем около 3,9 м³/сек. Между тем сток с площади естественного орографического бассейна этих родников (около 235 км²) по карте

изолиний стока должен составлять всего около 1,6 м³/сек. Отсюда дополнительный приток воды из озера равен 2,3 м³/сек.

Близкие к этому результаты получены А. П. Соколовым путем определения степени разбавления озерной воды при смешении ее с подземными водами местного происхождения. Расчет произведен им по хлору, как наиболее устойчивому гидрохимическому признаку.

Некоторое количество озерной воды со средним содержанием хлора 62 мг на литр смешивается с водой, циркулирующей в толще лавы и имеющей среднюю концентрацию хлора 6 мг. Последняя величина принята по аналогии с ближайшими родниками, находящимися в тех же геологических условиях. Суммарный дебит родников по трехлетним наблюдениям (1928—1930 гг.) составил 3,68 м³/сек. со средней концентрацией хлора 42 мг на литр.

В упрощенном виде задача сводится к решению следующих простых уравнений:

$$1) x + y = 3,7; \quad 2) 62x + 6y = 3,7 \cdot 42,$$

где x — количество озерной воды в м³/сек. и y — количество метеорной воды в м³/сек.

Отсюда находим, что величина подземного стока воды из озера составляет 2,4 м³/сек., а естественный сток с водосборной площади 1,3 м³/сек.

Таким образом, оба метода подсчета привели почти к одинаковым результатам, и это дает право в дальнейшем пользоваться только первым из этих методов — гидрометеорологическим, так как гидрохимические наблюдения после 1930 г. были прекращены.

Суммируя величину подземного стока воды в обоих участках, Еленовском и Рандамальском, получаем общие потери воды озера на фильтрацию (табл. 14).

Для сопоставления величины подземного стока с высотой стояния уровня озера здесь же приведены и эти данные в сантиметрах над нулем водомерного поста в с. Севан.

Связь между уровнем озера и средней годовой величиной подземного стока выражена вполне отчетливо на рис. 20. Этот график позволяет нам восстановить величину фильтрации воды в те годы, когда не было достаточных наблюдений над дебитом родников. Восстановленные данные отмечены в табл. 14 курсивом.

Таблица 14

Годы	Средний годовой уровень озер	Дебит 1-й группы родников (Еленов- ской)	Дебит 2-й группы родников			Общая величина подземного стока воды из озера
			общий	гидромете- орной воды	озерной воды	
см		в кубических метрах в секунду				
1927	184	0,2	—	—	—	2,3
1928	184	0,3	3,3	1,3	2,0	2,3
1929	195	0,3	3,9	1,4	2,5	2,8
1930	192	0,3	3,8	1,5	2,3	2,6
1931	195	0,4	3,9	1,5	2,4	2,8
1932	212	0,3	4,3	1,6	2,7	3,0
1933	215	—	—	—	—	3,0
1934	198	0,3	4,2	1,7	2,5	2,8

Средняя величина подземного стока воды из озера за 8-летний период составляет 2,7 м³/сек. или 85 млн. м³ в год, что соответствует слою воды на зеркале озера в 60 мм.

Вследствие запаздывания и распластывания подземного потока по пути фильтрации, дебит этих вод распределяется в году почти равномерно, с небольшим преобладанием его во второй половине года; по крайней мере такая картина наблюдается в родниках Рандамальского участка. Однако самое поступление воды из озера в толщу лав должно соответствовать месячным колебаниям уровня озера (см. табл. 3, стр. 14), как это подтверждает рис. 20. Поэтому годовая величина подземного стока за 1927—1934 гг. должна распределяться по месяцам, как указано в табл. 15.

В многолетней перспективе, если судить о ней по многолетним колебаниям уровня озера (см. табл. 2 на стр. 14), подземный сток должен колебаться от 0,0 до 3,2 м³/сек., составляя в среднем около 1,9 м³/сек., или 60 млн. м³ в год. Месячное же распределение этого стока представлено в той же табл. 15.

Вместе с тем график зависимости величины подземного стока от уровня озера как будто подтверждает выводы Севанского бюро о том, что фильтрация воды из озера происходит только в самом верхнем слое, так как ниже-

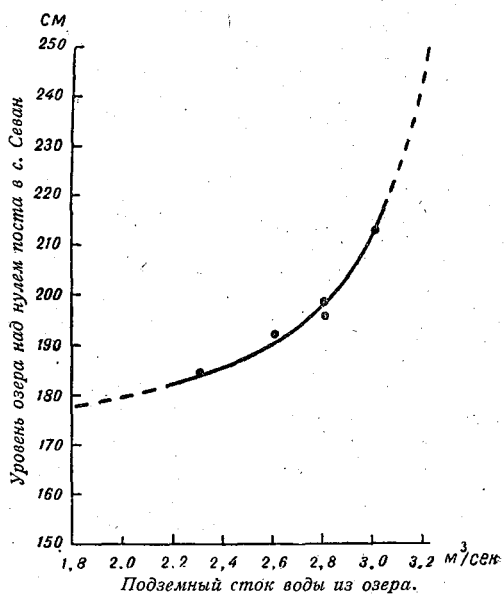


Рис. 20.

слой плотного ила препятствует просачиванию воды. Судя по графику фильтрация должна бы прекратиться уже при уровне озера в 160 см.

Таблица 15

Подземный сток воды из озера Севан.

Сток		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
Средний за 1927—1934 гг.	м ³ /сек. . .	2,2	2,1	2,2	2,5	2,8	3,0	3,0	3,0	2,9	2,8	2,7	2,5	2,7
	млн. м ³ . .	6	5	6	6	7	8	9	9	8	7	7	7	85
	мм слоя . .	4	4	4	4	5	6	6	6	6	5	5	5	60
Средний многолетний	м ³ /сек. . .	1,6	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,9
	млн. м ³ . .	4	4	4	4	5	5	6	6	5	5	5	5	60
	мм слоя . .	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	42

Однако при таком горизонте озера подземный сток все же будет иметь место, так как обнажившийся слой ила в озере станет разрушаться прибойной волной, но размеры фильтрации при столь низком стоянии уровня озера должны быть ничтожны. Напомним, что некоторые из Еленовских родников перестают функционировать при понижении уровня озера всего на несколько дециметров, а А. П. Соколов со слов местных старожилов сообщает, что в начале 900-х годов, когда средний уровень озера был на 0,5 м ниже современного, из-за недостатка воды в родниках прерывалась работа мельниц и в с. Рандамал.

Испарение с зеркала озера

Количественное преобладание испарения с поверхности озера Севан над остальными элементами его водного баланса заставляет уделять этому вопросу особое внимание и прибегать к различным способам проверки получаемых данных. Для определения величины испарения использованы три совершенно самостоятельных метода.

Один из них заключается в исчислении испарения по формуле водного баланса:

$$E = Q_1 + Q_2 + P - R_1 - R_2 + \Delta V,$$

где E — испарение за некоторый промежуток времени, Q_1 — поверхностный приток в озеро за то же время, Q_2 — подземный приток, P — атмосферные осадки на зеркале озера, R_1 — поверхностный сток из озера, R_2 — подземный сток из озера, ΔV — приращение объема воды в озере.

Второй способ, основанный на метеорологических данных, складывается из трех последовательных этапов:

- 1) установления зависимости величины испарения от метеорологических факторов по наблюдениям на пловучих испарительных станциях,
- 2) изучения гидрометеорологических условий самого озера,
- 3) определения величины испарения на основании этих данных и полученной формулы зависимости испарения от метеорологических факторов.

Поскольку в формуле испарения решающим фактором является дефицит влажности воздуха, условно назовем этот метод определения методом дефицита влажности.

Наконец, третий способ основан на решении уравнения теплового баланса, в котором одним из слагаемых является потеря водою тепла на испарение.

1. Метод водного баланса является чрезвычайно удобным при наличии широко поставленных гидрологических исследований, но конечно его можно применить лишь в том случае, когда нет сомнений в правильности учета всех остальных элементов баланса. Между тем не только численное значение таких факторов, как фильтрация воды из озера и подводное родниковое питание, но даже самый факт их существования были все время предметом разногласий между различными исследователями. Поэтому до самого окончания всех наших работ не было уверенности в возможности применения к Севану метода определения испарения по его водному балансу.

Сейчас, когда все остальные элементы баланса уже известны, задача сводится к подстановке численных значений в формулу баланса и решению этого простого уравнения. Предварительно все элементы должны быть, конечно, приведены к одной форме выражения, например миллиметрам слоя воды на зеркале озера.

Самого расчета здесь не приводится, так как весь баланс в целом будет рассмотрен в следующей главе; даются лишь конечные результаты подсчета в виде годовых сумм испарения.

Годы	см	Годы	см
1927	83	1931	91
1928	77	1932	85
1929	80	1933	87
1930	89	1934	80

В среднем за 8-летний период получается 84 см.

2. Недостатком метода дефицита влажности является несовершенная методика. Несмотря на обширную литературу, посвященную

как опытным работам по испарению, так и непосредственным наблюдениям, примеры определения испарения с открытой водной поверхности крупных водоемов чрезвычайно редки. В таких же деталях и в таких условиях, как на Севане, даже и вовсе не имеется примеров.

Задача осложняется некоторыми особенностями режима самого озера. Даже в мелководных и защищенных бухтах неизбежны частые заплескивания или выплескивания воды из испарителей. Борьба с этим явлением можно лишь при условии создания массивных громоздких рам с защитой от волн, что является совершенно нежелательным, так как искажаются естественные условия испарения.

Однако, даже при создании идеального типа испарителя его показания в лучшем случае могут соответствовать истинной величине испарения в данном ограниченном участке водной поверхности, а на такой обширной площади, какой является зеркало озера Севан, метеорологические условия, а следовательно и величина испарения в прибрежной и центральной частях должны сильно различаться. Наиболее заметна эта разница зимой. Уже в ноябре наблюдения по испарителям в прибрежной зоне обычно прекращаются вследствие замерзания в них ночью воды. В начале декабря замерзают небольшие бухты, а несколько позже образуются кромки льда и во всех остальных защищенных от ветра и волн прибрежных участках озера. Между тем средняя температура воды на поверхности открытого озера составляет в декабре $6^{\circ},5$, в январе $3^{\circ},5$, в феврале и марте $1^{\circ},5$. При таких условиях испарение в первую половину зимы при сравнительно высоких температурах воды и малом содержании паров в воздухе должно протекать довольно интенсивно, что в действительности и наблюдается. Наоборот, весной нагрев воды в прибрежной мелководной зоне и особенно в испарителях сильно опережает нагревание воды в открытом озере, почему и показания испарителей в то время года не соответствуют испарению с открытой поверхности озера.

Поэтому пришлось отказаться от всяких попыток экстраполирования данных пловучих испарителей на всю площадь озера и, вместо этого, установить опытным путем зависимость испарения от различных метеорологических факторов и найти численные значения этих факторов для всей площади озера.

Для решения первой задачи были организованы 4 испарительных станции, где дополнительно велись наблюдения по полной программе станций II разряда:

1) в Еленовской бухте, 2) в бухте Глаголь Арданышского залива, 3) около о. Севан и 4) у пристани в с. Загалу.

Мы не имеем возможности останавливаться здесь на особенностях каждого из пунктов наблюдений, на попытках организовать наблюдения в центре озера и на деталях полученных данных. Все эти вопросы освещены в специальном очерке по испарению озера Севан.¹ Укажем лишь что по своему местоположению станции отвечают различным метеорологическим условиям и отличаются друг от друга в деталях установки. Получение абсолютной величины испарения имело для нас второстепенное значение. Главное же внимание было уделено выводу формулы зависимости испарения от метеорологических элементов.

Основной причиной расхождения большинства предложенных разными исследователями формул испарения является, несомненно, неоднородность методов и условий наблюдений. В частности, говоря о том, что испарение количественно связано с дефицитом влажности, обычно не уточняют самого понятия о дефиците влажности. Между тем далеко не безраз-

¹ В. К. Давыдов. Испарение с поверхности озера Севан. Мат. по исслед. оз. Севан, ч. II, вып. 2. 1935 г.

личны как глубина слоя воды, температура которого при этом определяется, так и высота точки наблюдения над влажностью воздуха. Даже в том случае, когда дефицит влажности определяется по температуре воздуха, необходимо уточнить, к какой именно высотной точке относятся вычисления дефицита влажности, особенно в том случае, когда наблюдения ведутся с помощью психрометра Ассмана.

Проследив некоторую закономерность изменений с высотой влажности воздуха в самых нижних его слоях и приведя все наблюдения к одной высоте, например 10 см над уровнем воды в испарителе, получаем следующее уравнение:

$$e = 0,51 p D_{10} (1 + 0,12 W),$$

где e — испарение за сутки в миллиметрах; p — барометрический коэффициент, в условиях Севана равный 1,26 и представляющий собой отношение нормального давления на уровне моря (760 мм) к среднему атмосферному давлению на уровне Севана (605 мм); D_{10} — дефицит влажности воздуха, понимаемый здесь как разность между максимальной упругостью водяного пара при температуре поверхности воды и абсолютной влажностью воздуха на высоте 10 см; W — средняя скорость ветра в м/сек. по флюгеру (средняя высота его около 9 м).

Практически в условиях Севана, вместо выражения $0,51 p$, можно пользоваться множителем 0,64 ($= 0,5 \times 1,26$), а также можно округлить ветровой множитель, и тогда все уравнение примет вид:

$$e = 0,6 D_{10} (1 + 0,1 W).$$

Эта формула сходна с распространенными формулами Wüst'a, Meyer'a и др., отличаясь от них только численными коэффициентами, так как наблюдения производились в несколько иных условиях. Если дефицит влажности определять на какой-либо иной высоте, а не на высоте 10 см, то, конечно, изменятся и коэффициенты. Точно так же опыт показывает, что при замене флюгера анемометром на высоте 50 см над водой ветровой множитель увеличивается вдвое, т. е. до 0,2.

Задача сводится теперь к изучению гидрометеорологических условий в открытом озере, чтобы на основании этих данных и вышеприведенного уравнения вычислить испарение с поверхности Севана. Для решения этой задачи использованы:

- 1) наблюдения метеорологической станции на о. Севан,
- 2) систематические наблюдения на 4 постоянных пунктах в озере в расстоянии 1—2 км от берега,
- 3) так называемые „гидрологические разрезы“ вдоль озера, повторяемые в среднем 10—12 раз в году,
- 4) записи термографа и гигрографа на пловучей станции посреди озера,
- 5) большое количество эпизодических судовых наблюдений в разных участках озера.

После систематизации всего этого материала и увязки его с одновременными наблюдениями опорных береговых метеорологических станций получаем возможность восстановить годовой ход основных метеорологических элементов в открытом озере и по ним исчислить величину испарения.

Следует обратить внимание на одно важное обстоятельство. Такой метод решения задачи совершенно исключает весьма спорный вопрос о так называемом „редукционном“ коэффициенте, который служит для приведения показаний испарителя к истинной величине испарения. Необходимость в нем возникает тогда, когда ни температура воды, ни влажность воз-

духа над исследуемым водоемом неизвестны. Учитывая же эти решающие метеорологические факторы в их естественной обстановке, мы тем самым вводим основную поправку к показаниям испарителей, второстепенными же факторами приходится, конечно, пренебречь.

Определить самую величину испарения с озера Севан по методу дефицита влажности мы можем лишь за четыре года, в продолжение которых велись специальные исследования, т. е. с 1927 по 1930 г. Расчетные данные приведены в табл. 16. Хотя весь расчет произведен для каждого года в отдельности, но здесь мы приводим лишь средние четырехлетние величины.

Таблица 16

Расчет величины испарения с зеркала озера Севан по метеорологическим данным

Элементы наблюдения	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Температура воды на поверхности озера в °С (T)	3,4	1,8	1,5	3,3	7,6	13,2	16,8	17,9	17,2	14,2	10,5	6,4	9,5
Предельная упругость водяного пара, в мм (V)	5,8	5,2	5,1	5,8	7,8	11,4	14,3	15,4	14,7	12,2	9,6	7,2	—
Абсолютная влажность воздуха над озером, в мм, на высоте 2 м ($v_{2,0}$)	2,6	2,8	3,3	5,0	6,9	8,7	10,4	10,0	8,5	6,5	5,0	3,4	6,1
То же на высоте 0,1 м ($v_{0,1}$)	3,0	3,2	3,8	5,7	7,9	10,0	12,0	11,5	9,8	7,5	5,8	3,8	7,0
Дефицит влажности воздуха на высоте 0,1 м в мм ($D_{0,1}$)	2,8	2,1	1,3	0,1	-0,05	1,3	2,3	3,9	4,9	4,7	3,8	3,3	2,6
Скорость ветра над озером на высоте 9 м в м/сек. (W)	3,4	4,5	4,0	3,2	2,5	2,9	3,7	2,8	3,4	3,3	3,6	4,3	3,5
Испарение за сутки в мм (e)	2,6	2,1	1,2	0,1	0,0	1,1	2,2	3,3	4,5	4,2	3,5	3,3	2,4
Испарение за месяц в мм (E)	80	58	38	2	-1	32	67	104	135	129	105	101	850

На основании систематических исследований термического режима озера определена средняя температура воды на поверхности, которая и приведена в табл. 16. Соответствующая ей предельная упругость водяного пара (V) дана в следующей строке. Точно так же была определена и влажность воздуха над озером на высоте 2 м. На основании наблюдений на севанских станциях и обработки литературных данных найдена связь между величиной абсолютной влажности на высоте 0,1 и 2,0 м, которая в первом приближении может быть выражена уравнением:

$$v_{0,1} = 1,15 \cdot v_{2,0}.$$

С помощью этой формулы все данные по влажности воздуха приведены к высоте 0,1 м, и вычислен дефицит влажности $D_{0,1}$ по разности $V - v_{0,1}$. Скорость ветра вычислена по береговым и островной станциям и приблизительно соответствует высоте около 9 м над поверхностью воды. Точнее определить эту величину не удалось.

На основании всех этих данных и выше приведенной формулы испарения получены суточные, а затем и месячные величины испарения:

Таким же способом определено испарение за отдельные годы:

Годы	см
1927	83
1928	76
1929	88
1930	92

3. Определение испарения с поверхности Севана по методу теплового баланса является одним из немногих опытов в этом направлении. Методически этот способ еще очень слабо разработан.

Уравнение теплового баланса можно написать в следующем виде:

$$E = (Q' + q) - (r + R + K) \pm \Delta T,$$

где E — потеря тепла на испарение за некоторый промежуток времени, $Q' + q$ — прямая и рассеянная солнечная радиация, r — отражение ее от водной поверхности при поступлении в озеро, R — эффективное излучение с поверхности озера, K — теплообмен между водой и воздухом путем прямой конвекции, ΔT — положительное или отрицательное приращение запасов тепла в самом озере за тот же промежуток времени.

Из этого уравнения исключены те элементы, которые в условиях Севана не могут иметь большого значения, т. е. теплообмен между водной средой и ложем озера, приходо-расход тепла от притоков, поверхностного и подземного стока и осадков, выпадающих на зеркале озера, и наконец те экзо- и эндотермические процессы, которые совершаются в самом озере (химические, биологические, ледообразование, таяние льда и пр.).

Не останавливаясь здесь подробно на способах подсчета теплового баланса, укажем лишь следующие основные положения.

Приход солнечной энергии определен по формуле С. И. Савинова, причем коэффициент прозрачности (0,8) проверен показаниями актинометра на о. Севан. Облачность определена по данным наблюдений на всех береговых станциях, судовых журналов и записи двух гелиографов на противоположных берегах озера.

Коэффициент отражения прямой радиации от водной поверхности взят по Шмидту с учетом средней месячной высоты стояния солнца на широте Севана (40° с. ш.), а коэффициент отражения диффузного света принят равным 10%.

Для определения потерь тепла озером на излучение приняты средние значения из результатов подсчета по трем различным способам Шмидта, Онгстрема — Савинова и Ричардсона. Кроме коэффициента излучения абсолютного черного тела и эмпирически найденных названными авторами различных множителей, остальные данные — температура воды, температура и влажность воздуха, облачность — получены из непосредственных наблюдений.

Для определения конвекции тепла в слое соприкосновения воды и воздуха, принята в основном формула Шулейкина.

Что касается изменения запасов тепла в самом озере, то сведения о них заимствуются из очерка, посвященного термическому режиму озера.¹

Тепловой баланс озера Севан мог быть определен лишь по средним четырехлетним данным, так как для характеристики некоторых его элементов по отдельным годам у нас сведений недостаточно. Но части основных и исходных данных, как, например, величина напряжения прямой солнечной радиации, коэффициент прозрачности воздуха, являются

¹ В. К. Давыдов. Термика озера Севан. Мат. по исслед. оз. Севан, ч. II, в. 1. Лигр. 1934 г.

здесь средними многолетними нормами, поэтому и весь тепловой баланс, приводимый в табл. 17, можно рассматривать как приближенный средний, многолетний.

Таблица 17

Тепловой баланс озера Севан (в мал. кал. в 1 мин. на 1 см²)

Элементы баланса	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
Прямая радиация (Q')	0,08	0,10	0,15	0,20	0,28	0,34	0,32	0,31	0,23	0,15	0,10	0,05	0,19
Рассеянная радиация (q)	0,04	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,06	0,06	0,05	0,03	0,02	0,06
$\Sigma_1 = Q' + q$	0,12	0,17	0,23	0,28	0,37	0,43	0,40	0,37	0,29	0,20	0,13	0,07	0,25
Отражение солнечной радиации от водной поверхности (r)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Эффективное излучение (R)	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08
Конвекция между водой и воздухом (K)	0,14	0,11	0,07	-0,03	0,03	0,01	0,02	0,03	0,07	0,10	0,12	0,14	0,06
$\Sigma_2 = r + R + K$	0,24	0,20	0,16	0,06	0,06	0,11	0,12	0,14	0,18	0,21	0,22	0,23	0,16
$\Sigma_1 - \Sigma_2$	0,12	-0,03	0,07	0,22	0,31	0,32	0,28	0,23	0,11	-0,01	-0,09	-0,16	0,09
Изменение запасов тепла в озере (ΔT)	-0,20	-0,09	0,02	0,19	0,30	0,28	0,20	0,08	-0,08	-0,19	-0,25	-0,26	0,00
Потери тепла на испарение	0,08	0,06	0,05	0,03	0,01	0,04	0,08	0,15	0,19	0,18	0,16	0,10	0,09

Вычисленные по табл. 17 потери тепла на испарение можно перенести в объем или слой испарившейся воды, исходя из того что на испарение 1 см³ воды требуется 606,5—0,695 *t* калорий, где *t* температура воды (табл. 18).

Таблица 18

Испарение с поверхности озера Севан по уравнению теплового баланса (в миллиметрах)

Величины	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
Среднее суточное	1,9	1,4	1,2	0,7	0,2	1,0	1,9	3,6	4,6	4,6	4,3	3,8	2,4
Месячная сумма	60	41	37	22	7	29	60	112	137	134	115	74	828

Результаты всех трех способов подсчета приведены в табл. 19.

Средние величины испарения, подсчитанные разным способом, дают очень близкие результаты, в отдельные же годы, как например в 1929 г., расхождение в годовой сумме испарения составляет около 10%.

Что касается внутригодового распределения величины испарения (табл. 20), то за исключением двух весенних месяцев, особенно мая, остальное время года все три способа подсчета дают вполне согласный ход кривой (см. рис. 21). Величина испарения в мае, подсчитанная по уравнению водного баланса, несомненно, преувеличена.

Таблица 19

Годовой слой испарения (в миллиметрах)

Годы	По методу водного баланса	По методу дефицита влажности	По методу теплового баланса
1927	83	33	—
1928	77	76	—
1929	80	88	—
1930	89	92	—
1931	91	—	—
1932	85	—	—
1933	87	—	—
1934	80	—	—
Среднее	84	85	83

Таблица 20

Месячный слой испарения (в миллиметрах)

Метод подсчета	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
По водному балансу . . .	66	36	35	16	*52	39	63	96	129	116	103	89	840
По дефициту влажности . .	80	58	38	2	—1	32	67	104	135	129	105	101	850
По тепловому балансу . .	60	41	37	22	7	29	60	112	137	134	115	74	828
Среднее . . .	67	45	37	13	*19	33	63	104	134	126	108	88	837

Примечание. Звездочка обозначает данные по неполным наблюдениям.

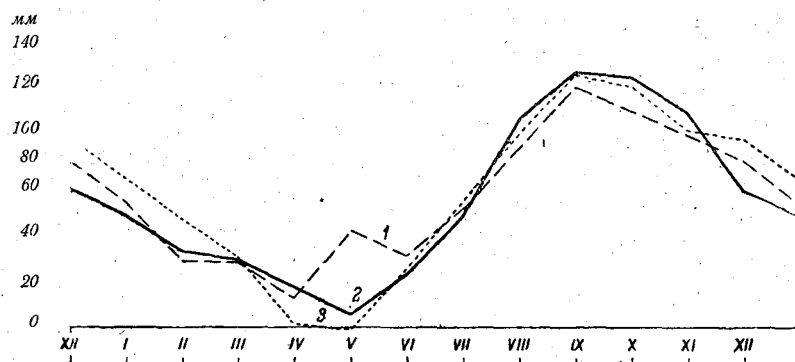


Рис. 21. Средний годовое ход испарения с поверхности озера Севан, вычисленный:

1—по водному балансу; 2—по тепловому балансу; 3—по дефициту влажности.

Все три способа подсчета дают минимум испарения в апреле—мае и максимум в сентябре—октябре. Этот факт заслуживает особого внимания так как вносит существенную поправку в распространенное мнение о совпадении максимума и минимума испарения с аналогичными моментами для температуры воздуха. Последнее положение остается в силе лишь для небольших и очень мелких водоемов и почвенной влаги. В больших озерах и морях должно происходить запаздывание в годовом ходе испаре-

ния. На Севане же, в силу своеобразных условий его гидрометеорологического режима, это запаздывание выражено исключительно сильно.

Какие же данные следует принять окончательно для расчета?

Результат определения испарения по методу водного баланса почти совпадает со средним из всех трех способов подсчета. Кроме того за годы 1931—1934 мы не имеем других данных, как только подсчитанных по водному балансу. Поэтому мы и принимаем их для дальнейших расчетов.

Выше указывалось, что основные элементы водного баланса озера в среднем за 1927—1934 гг. мало отличаются от многолетних норм. Следовательно, это положение должно оставаться справедливым и для испарения. Уровень озера за 8 лет поднялся всего на 2 см, что подтверждает почти полное равенство приходной и расходной частей баланса.

В самом деле, осадки и приток в среднем за эти годы составили $388 + 560$ или 948 мм. Среднегодовая сумма испарения, подсчитанная по дефициту влажности, — 850 мм, а по тепловому балансу 828 мм, среднее из обоих подсчетов составляет 839 мм. Поверхностный сток воды из озера составлял слой в 46 мм и подземный — 60 мм. Общие потери 945 мм. Разница между приходом и расходом $948 - 945 = 3$ мм, т. е. практически равна нулю.

Не имея возможности непосредственно определить многолетнюю норму испарения, мы имеем теперь право вычислить ее по многолетним нормам остальных элементов водного баланса. Как увидим из дальнейших расчетов, она составляет 855 мм, что, как и следовало ожидать, очень близко к средней годовой величине за 8 лет наблюдений.

Раскладывая незначительную невязку по месяцам и учитывая случайные ошибки разных способов подсчета, обнаруживаемые на рис. 21, получаем окончательно следующие многолетние величины испарения:

Январь	67 мм	Июль	63 мм
Февраль	50 "	Август	108 "
Март	37 "	Сентябрь	136 "
Апрель	19 "	Октябрь	126 "
Май	17 "	Ноябрь	109 "
Июнь	34 "	Декабрь	89 "
		Годовая сумма	855 мм

Остается установить возможные пределы колебаний величины испарения озера Севан.

По кривой обеспеченности (рис. 22) определяем верхним пределом колебаний годовую сумму в 92 см, а нижним — 76 см.

Эти данные еще раз подтверждают, что испарение подвержено относительно меньшим колебаниям из года в год, чем прочие элементы водного баланса.

V. СОВРЕМЕННЫЙ БАЛАНС ОЗЕРА СЕВАН

Рассмотрев все элементы водного баланса, можно дать полную картину прихода и расхода воды в озере. В табл. 21 эти величины представлены для удобства пользования в двух разных мерах: в сантиметрах

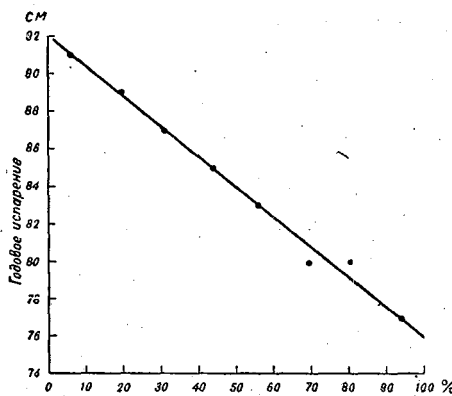


Рис. 22. Кривая обеспеченности годовой величины испарения.

слоя воды на зеркале озера и в миллионах кубических метров воды в год. При переводе из одной меры в другую мы исходили из постоянства величины площади озера (1416 км²), пренебрегая ее сезонными и годовыми колебаниями, так как последние, как уже известно, не превышают десятых долей процента.

Следует также напомнить, что точность подсчета отдельных элементов водного баланса неодинакова: Осадки определяются вообще с точностью до 0,1 мм; подсчет же месячных и годовых сумм, да еще на значительной площади озера едва ли может претендовать на точность до одного миллиметра. Приток воды в озеро и сток ее из озера за месяц вычисляются с точностью до 0,1 м³/сек., что в переводе на слой воды в озере дает 0,2 мм; годовой приток подсчитывается почти с той же точностью, так как он складывается из месячных сумм. Колебания уровня регистрируются с точностью до 1 см, что соответствует объему воды

Таблица 21

Водный баланс озера Севан

Годы	Приход			Расход				Приращение уровня или объема воды
	осадки на зеркале озера	приток воды в озеро	итого	поверхностный сток	подземный сток	испарение	итого	
в миллионах кубических метров								
1927	567	634	1 201	30	72	1 167	1 269	— 68
1928	581	744	1 325	37	73	1 095	1 205	120
1929	581	863	1 444	60	88	1 126	1 274	170
1930	609	623	1 232	52	82	1 272	1 406	—174
1931	651	920	1 571	15	88	1 284	1 387	184
1932	482	1 068	1 550	31	96	1 211	1 338	212
1933	496	805	1 301	147	95	1 229	1 471	—170
1934	425	691	1 119	155	88	1 131	1 374	—255
Средний за 1927—1934	549	793	1 342	66	85	1 189	1 340	2
Средний многолетний	552	770	1 322	50	60	1 212	1 322	0
в сантиметрах слоя на зеркале озера								
1927	40	45	85	2	5	83	90	— 5
1928	41	53	94	3	5	77	85	9
1929	41	61	102	4	6	80	90	12
1930	43	44	87	4	6	89	99	—12
1931	46	65	111	1	6	91	98	13
1932	34	75	109	2	7	85	94	15
1933	35	57	92	10	7	87	104	—12
1934	30	49	79	11	6	80	97	—18
Средний за 1927—1934	39	56	95	5	6	84	95	0
Средний многолетний	39	54	93	3	4	86	93	0

в 14 млн. м³. Следовательно, этот элемент подсчитывается с наименьшей точностью. Поэтому все элементы водного баланса, выраженные в виде слоя воды на зеркале озера, даны округленно до сантиметров, а объемы с точностью до миллионов кубических метров.

В табл. 21 наряду с ежегодными данными за 1927—1934 гг. и средними за весь восьмилетний период приводятся средние многолетние величины. Последние были определены выше при рассмотрении каждого элемента в отдельности, кроме испарения, многолетняя норма которого вычислена по уравнению баланса.

Как уже известно, большинство элементов баланса в среднем многолетнем дают весьма близкие или почти те же величины, что и в среднем

Таблица 22

Средний многолетний баланс воды озера Севан

Элементы баланса	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
в миллионах кубических метров													
Осадки на зеркале	20	25	33	55	82	81	54	47	57	38	35	23	550
Приток воды в озеро	34	34	44	116	207	105	45	37	37	38	38	35	770
Приход	54	59	77	171	289	186	99	84	94	76	73	58	1320
Поверхностный сток	1	1	1	3	6	7	7	6	6	5	4	3	50
Подземный сток	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	4	4	60
Испарение	95	71	52	27	24	48	89	153	193	178	154	126	1210
Расход	100	76	57	34	36	61	102	165	205	189	162	133	1320
Приращение объема воды	-46	-17	20	137	253	125	-3	-81	-111	-113	-89	-75	0
в миллиметрах слоя на зеркале озера													
Осадки на зеркале озера	14	18	23	39	58	57	38	33	40	27	25	16	388
Приток воды в озеро	24	24	31	82	146	74	32	26	26	27	27	25	544
Приход	38	42	54	121	204	131	70	59	66	54	52	41	932
Поверхностный сток	1	1	1	2	4	5	5	4	4	3	3	2	35
Подземный сток	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	42
Испарение	67	50	37	19	17	34	63	108	136	126	109	89	855
Расход	71	54	41	24	25	43	72	116	144	133	115	94	932
Приращение уровня	-33	-12	13	97	179	88	-2	-57	-78	-79	-63	-53	0

за 8 лет. Так, осадки в обоих случаях составляют за год 39 см (точнее 388 и 391 мм), а приток воды в озеро и испарение с его поверхности за эти годы отличаются от многолетних норм всего на 2—2½%. Несколько больше отклоняется от своих средних многолетних норм поверхностный

и подземный сток воды из озера, но абсолютные величины этих элементов столь незначительны, что они почти не отражаются в общем балансе воды в озере.

Что касается уровня озера, то приращение его за 8-летний период составило всего 14 мм, т. е. менее 2 мм в год. Иначе говоря, годовое приращение уровня озера не выходит за пределы точности обычных водомерных наблюдений; практически оно равно нулю.

В многолетнем балансе приращение уровня озера за год должно равняться нулю; в противном случае будет происходить накопление воды в озере или, наоборот, расходование его вековых запасов.

Таким же путем получен и средний многолетний баланс воды по месяцам (табл. 22). При этом пришлось сделать допущение, что среднее месячное приращение уровня и объема воды в озере соответствует средним за 8-летний период, так как за предыдущие годы мы не располагаем данными о приращениях уровня с первого по последнее число каждого месяца, а разности средних месячных уровней не могут служить показателем их приращения за месяц.

Приведенные величины являются средними многолетними. Однако при проектировании гидротехнических сооружений может возникнуть вопрос о вероятных пределах колебаний притока и расхода воды в озере и его уровня.

Мы уже видели, как на протяжении 8 лет колеблется баланс воды: в наиболее многоводном 1932 г. поступление воды в озеро превысило расход на 212 млн. м³, и уровень поднялся за год на 15 см, а в наиболее сухом 1934 г. баланс воды в озере заключен с дефицитом в 255 млн. м³ при падении уровня на 18 см.

Являются ли эти величины предельными и какова амплитуда колебаний приходной и расходной части водного баланса? Выше были уже рассмотрены возможные пределы колебаний отдельных элементов баланса. От их сочетания будет зависеть и амплитуда колебаний уровня озера.

Естественно было бы допустить, что приход воды в озеро достигает своего максимума в исключительно богатый осадками и холодный год, т. е. именно тогда, когда интенсивность испарения минимальна. Наоборот, в сухой и жаркий год расход воды из озера достигает своего максимума, а поступление — минимума. Беря уже известные нам из предыдущих глав крайние выражения составных элементов баланса, получаем следующие округленные величины:

В первом случае:

Приход	Расход
Осадки на зеркале озера 525 мм или 740 млн. м ³ Приток воды в озеро 1260 " "	Поверхностный и подземный сток 0 млн. м ³ Испарение 760 мм или 1080 " "
$\Sigma_1 = 2000 \text{ млн. м}^3$	$\Sigma_2 = 1080 \text{ млн. м}^3$

Разность $\Sigma_1 - \Sigma_2 = 920 \text{ млн. м}^3$, что составляет слой воды в 65 см.

Во втором случае:

Приход	Расход
Осадки на зеркале озера 255 мм или 360 млн. м ³ Приток воды в озеро 620 " "	Поверхностный сток 160 млн. м ³ Подземный сток 100 " " Испарение 920 мм или 1300 " "
$\Sigma_1 = 980 \text{ млн. м}^3$	$\Sigma_2 = 1560 \text{ млн. м}^3$

Разность $\Sigma_1 - \Sigma_2 = -580 \text{ млн. м}^3$, что равносильно падению уровня озера на 41 см.

Наблюдались ли когда-нибудь такие резкие изменения уровня в течение одного года? Не располагая данными о среднем уровне озера на 1 января за все предыдущие годы, обращаемся к средним месячным уровням за январь.

Судя по этим данным, максимальное приращение уровня наблюдалось в 1905 г., когда оно составило 61 см, наибольшее падение — в 1898 г. на 46 см. Обе величины почти совпадают с нашими теоретическими расчетами, но данные этих лет внушают сомнение, так как кривая годового хода уровня в эти годы совершенно не оправдывается обычным ходом гидрометеорологических элементов. Следующими крайними величинами годового приращения уровня, и при этом вполне надежными, являются +35 см (1896 г.) и -28 см (1917 г.).

Таким образом, исключая оба года с сомнительными данными, мы в действительности не наблюдаем тех амплитуд колебаний уровня озера, которые получены при теоретическом расчете на основании отдельных слагаемых водного баланса. Это объясняется тем, что в действительности никогда не бывает такого положения, когда максимум всех приходных статей баланса совпадал бы по времени с минимумом всех его расходных частей и наоборот.

Если проследить, например, распределение составных элементов баланса за 8 лет полных наблюдений (табл. 21), то окажется, что максимум суммарного прихода воды в озеро (1931 г.) по времени не совпадает с минимумом суммарного расхода (1928 г.) и, наоборот, минимум прихода (1934 г.) не совпадает с максимумом расхода (1933 г.).

Мало того, в год наибольшего количества осадков на зеркале озера (1931 г.) одновременно наблюдалось и максимальное испарение, а в самый сухой год (1934 г.) оно также падает до минимума. В первый момент это кажется нарушением общепринятых климатических представлений. В действительности же здесь климатические законы не нарушены. Основная масса осадков выпадает на Севане весной, а решающим временем года для испарения является конец лета и осень (август—ноябрь). Кроме того, осадки всего теплого сезона не носят здесь характера обложных дождей, т. е. не связаны с понижением температуры, а, наоборот, в значительной мере являются следствием жаркого лета и интенсивной грозовой деятельности, когда одновременно возрастает и интенсивность испарения.

Любопытно также отметить, что годовой приток воды в озеро не обнаруживает параллельного хода с величиной осадков на зеркале озера, так как нет полного параллелизма между количеством осадков, выпадающих на зеркале озера и на его водосборной площади. В дальнейшем, при рассмотрении климатической роли озера, мы подробнее остановимся на свойстве озера как бы отклонять осадки и перераспределять их на территории севанской котловины.

Все эти обстоятельства значительно нивелируют разности между приходом и расходом воды в озере и годовые колебания его уровня.

Для установления вероятных пределов колебаний прихода и расхода воды были построены кривые их обеспеченности на основании 8-летних наблюдений. Вероятный максимум прихода определен в 1700 млн. м³, а минимум — в 1050 млн. м³. Соответствующие пределы расходования воды из озера заключены между 1550 и 1150 млн. м³.

При совпадении максимума прихода с минимумом расхода это даст прирост уровня на 39 см; при обратных условиях вызовет падение уровня на 35 см.

Эти величины близки к тем амплитудам колебаний уровня, которые уже отмечены в прошлом в годы надежных наблюдений, и потому могут быть приняты для расчетов.

VI. ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СВЯЗИ С СОКРАЩЕНИЕМ ПЛОЩАДИ ОЗЕРА

Вопрос о климатической роли озера Севан не только представляет особый интерес с теоретической стороны, но является исключительно важным для решения практической задачи использования его водных ресурсов. С этой стороны наиболее интересны два основных момента:

- а) какие изменения в климате окружающей местности вызовет сокращение зеркала озера,
- б) как будет меняться водный баланс озера при нарушении современных климатических условий.

Указания на климатическое влияние озера мы находим и у предыдущих исследователей, например у Е. С. Маркова и И. В. Фигуровского.

При составлении плана исследовательских работ на Севане мы не могли не считаться с весьма распространенным тогда мнением о неизбежности резких климатических изменений не только в бассейне озера, но и в соседних с ним районах. Поэтому изучению климатических условий пришлось уделить большое внимание.

Ряд предшествовавших выпусков настоящего издания был посвящен описанию отдельных климатических элементов.¹ В них мы находим ответы на стоящие перед нами частные вопросы. Обобщая эти выводы и дополняя их рядом новых положений, мы даем здесь прогноз ожидаемых изменений в климатическом и гидрологическом режиме бассейна озера Севан.

Оставляем в стороне те элементы климата, которые либо являются несущественными с точки зрения нашей практической задачи, либо мало связаны с присутствием озера и потому не должны претерпевать заметных изменений и в будущем.

Осадки

Наибольший интерес, несомненно, представляет вопрос в влиянии озера на количество выпадающих в его бассейне осадков и на общее увлажнение изучаемого района.

Многочисленные факты прямо или косвенно говорят о том, что присутствие озера не способствует увеличению количества выпадающих в его бассейне осадков. Приводим несколько доказательств.

1. На карте распределения осадков в центральной части Малого Кавказа (приложение II), составленной нами по новейшим данным (по 1934 г. включительно), резко выделяется плювиометрическая депрессия на месте севанской котловины.

В этой части Закавказья, в зоне, расположенной на высоте 2000 м, т. е. соответствующей высоте уровня озера Севан, годовое количество осадков составляет в среднем 700 мм в северной части и 550—600 мм — в южной. Между тем на дне севанской котловины оно едва достигает 350—400 мм.

Сопоставим, например, несколько пунктов в бассейне озера с ближайшими метеорологическими станциями за пределами его бассейна (табл. 23).

Для полной сравнимости приводим все данные к одному периоду.

Во всех направлениях станции вне Севанского бассейна обнаруживают осадков больше, чем внутри его, несмотря даже на то, что все они расположены значительно ниже уровня озера.

¹ См. работы В. К. Давыдова, Н. Г. Николаева, Г. И. Орлова и Е. С. Селезневой.

Таблица 23

Станции в бассейне озера	Высота над ур. моря м	Годовая сумма осадков мм	Станции вне бассейна озера	Высота над ур. моря м	Годовая сумма осадков мм
Остров Севан . . .	1 918	442	Нижние Ахты . . .	1 780	552
с. Севан (Еленовка)	1 925	547	Сухой Фонтан . . .	1 760	523
Шорджа	1 918	387	Красное Село . . .	1 865	557
Басаргечар	1 935	415	Кедабек	1 830	523
Чубухлы	1 960	571	Делижан	1 294	552
Семеновка	2 090	590	Воскресеновка . . .	1 835	696

Было бы ошибочным сделать отсюда вывод, что бассейн озера лежит выше зоны максимального количества осадков. Сейчас можно уже считать установленным, что в пределах Армении эта зона лежит значительно выше. В частности в бассейне Севана количество осадков возрастает от центра к периферии, достигая своего максимума на наиболее высоких частях водораздела — на высоте 3000—3500 м.

Большая засушливость Севанского бассейна сравнительно с соседними районами обнаруживается на целом ряде других не менее убедительных примеров.

2. Изучение синоптических карт Закавказья показало, что выпадение осадков в пределах только Севанского бассейна — явление чрезвычайно редкое. Значительно чаще наблюдается обратное явление, когда дожди выпадают только за пределами бассейна, не захватывая его площади; наибольшее же число дождей связано с проходящими грозами. По подсчетам Н. Г. Николаева¹ с ними связано около 40% всех осадков, выпадающих в бассейне озера, а в отдельные месяцы оно превышает 90%.

Кстати заметим, что грозы, проникшие в бассейн Севана, обычно не пересекают озеро, а стремятся обойти его по склонам окружающих гор. Очевидно здесь наблюдается то же явление, что уже отмечалось на Байкале.

3. На склонах Ахманганского хребта, Алагеза и Карны-ярыха, обращенных к Араратской долине, искусственное орошение применяется до высот 1300—1400 м. Выше идут богарные (неполивные) земли. Но на берегах Севана, на высоте 2000 м, всюду, за исключением северо-западного побережья, искусственное орошение становится опять необходимым.

4. Изучение почвенного покрова, произведенное Закавказской экспедицией Академии наук СССР, показало, что наиболее засушливой частью Севанского бассейна являются полуостров Адатапа и мыс Норадуз.² Общее положение таково, что чем ближе к озеру, тем почва суше.

Но еще интереснее сопоставление в этом отношении бассейна Севана с соседними районами. Оказывается, что почвенные зоны всюду спускаются ниже, чем в севанской котловине. Это положение остается в силе и для Ахманганского хребта: его северо-восточные склоны, обращенные к озеру, являются более сухими, чем юго-западные, обращенные к знойной Ереванской котловине.

Объяснить это явление экспозицией склонов нельзя, так как на противоположном берегу озера юго-западные склоны Шахдагского хребта,

¹ Н. Г. Николаев. Облачность и грозы в бассейне Севана. Мат. по иссл. оз. Севан, ч. III, вып. 5. Лнгр., 1933 г.

² Что вполне соответствует карте осадков (см. приложение II).

обращенные к озеру, по характеру почв значительно суше, чем северо-восточные, обращенные к бассейну р. Куры.

5. Схема распределения растительного покрова по А. А. Гроссгейму (рис. 6, стр. 8) также весьма убедительно подтверждает смещение вверх всех растительных зон в бассейне Севана. Нигде в соседних районах горно-степная растительность не подымается выше 2000 м над уровнем моря, а в бассейне озера она иногда заходит выше 2500 м.

Субальпийская зона простирается здесь до 2700—2800 м, а в отдельных участках и до 3000 м, в то время как за пределами бассейна на этих высотах чаще всего располагаются уже настоящие альпийские луга.

Отсутствие леса или в лучшем случае скудная кустарниковая растительность на берегах Севана при богатой облесенности противоположных склонов Шахдагского и Памбакского хребтов¹ точно так же не говорит об увлажняющей роли озера.

6. Высказывалось опасение, что сокращение зеркала озера и уменьшение объема испаряющейся массы воды вызовет постепенное иссыкание многочисленных родников, питающих притоки Севана, так как испарение с озера Севан, если и не дает заметного увеличения осадков на склонах окружающих гор, то все же способствует обогащению его бассейна влагой путем конденсации водяного пара в почве.

Действительно, в бассейне озера, особенно в его прибрежной части, наблюдается некоторое увеличение влажности воздуха сравнительно с соседними районами. Имеются даже факты, свидетельствующие о конденсации влаги в почве.² Однако мы не имеем никакого основания утверждать, что это явление создает в условиях Севанского бассейна какой-то добавочный сток.

В самом деле, поглощение почвой влаги из воздуха происходит и за пределами Севанского бассейна, и об увлажняющем влиянии озера мы могли бы говорить лишь в том случае, если бы в бассейне Севана процессы конденсации происходили интенсивнее, чем в других районах. Но указанные выше факты — состояние почвенного и растительного покрова; искусственное орошение и т. п. — категорически отрицают это.

Если даже сделать допущение, что вследствие трещиноватости лавовых пород конденсирующаяся влага уходит глубоко вниз, слабо задерживаясь в почвенных горизонтах, и дает питание многочисленным родникам, то тогда мы вправе ожидать общего повышения модуля стока: Но достаточно сравнить водность рек Севанского бассейна с водностью рек соседних районов, чтобы со всей очевидностью убедиться не только в отсутствии здесь какого-либо дополнительного питания, но, наоборот, в наличии уменьшенного модуля стока (см. приложение III).

¹ Мы исключаем из рассмотрения области с лавовым покровом, так как развитию на них древесной растительности препятствуют не климатические факторы, а трещиноватость пород и большая глубина залегания водоносного горизонта.

² Явление конденсации, повидимому, довольно часто можно наблюдать вблизи многих вершин не только в Севанском бассейне, но и вообще в Армении. Здесь процессы выветривания и разрушения пород усиливают их природную трещиноватость, что вместе с резкими колебаниями температуры и влажности воздуха создает благоприятные условия для конденсации и осаднения влаги. Об этом свидетельствуют небольшие роднички, часто выходящие у самых вершин, происхождение которых не всегда может быть объяснено одними лишь дождевыми и снеговыми осадками. Другим примером конденсации влаги в почве могут служить наблюдавшиеся нами на Ахманганском хребте заросли таких гигрофитов, как папоротники, на каменных россыпях или, по-местному, „ченгилах“. В самый сухой период года под верхним слоем горячих камней ченгилы содержат в себе довольно значительное количество влаги, питающей корни растений.

Наконец на том же хребте мы наблюдали еще один вид конденсации, но не в почве, а непосредственно в воздухе. В жаркий летний день при совершенно безоблачном небе в воздухе образовывались и падали на землю редкие, но крупные капли дождя. Это же явление наблюдал геолог Б. М. Куплетский.

В пределах Севанского бассейна норма годового стока отдельных рек колеблется в пределах от 4,2 до 14,7 л/сек. в зависимости от осадков, рельефа и пр. В среднем для всего бассейна сток составляет 7,9 л/сек. В табл. 24 приводится сравнение его с модулями стока ближайших рек, берущих начало на внешних склонах гор, окружающих севанскую котловину.

Таблица 24

Бассейны	Пост	Площадь бассейна км ²	Средняя высота бассейна м	Средний годовой расход м ³ /сек.	Модуль стока л/сек.
Озеро Севан	—	3 475	2 390	25,4	7,9
р. Занга	Канакир	1 832	2 090	14,9	8,2
р. Восточный Арпа-чай	Арпа	2 047	—	19,5	9,5
р. Базар-чай	Лцин	1 717	2 380	18,2	10,6
р. Тертер	Мадагиз	2 437	—	23,6	9,7
р. Шамхор-чай	Борсум	890	—	10,4	11,7
р. Акстафинка	Иджеван	225	2 080	1,9	8,5

Несмотря на наибольшую абсолютную высоту Севанского бассейна, удельный сток с его площади оказывается наиболее низким.

7. Почти повсюду в Закавказье в годовом ходе осадков наблюдается ярко выраженный весенний максимум, приходящийся на апрель—июнь. Вторичный, значительно более слабый максимум намечается осенью, в сентябре—ноябре. На фоне этой основной схемы все отличия отдельных районов являются второстепенными признаками.

В особом положении находится побережье Черного моря и Ленкоранский берег Каспийского моря. В этих районах, питаемых преимущественно испарением ближайших морей, максимум осадков приходится на осень и зиму.

Если бы подробное распределение осадков наблюдалось в бассейне Севана, то его также можно было бы объяснить влиянием местного испарения с поверхности озера, но в этом отношении Севанский бассейн ничем не отличается от прочих районов Центрального и Южного Закавказья.

Максимум осадков (рис. 23) приходится здесь на те месяцы, когда испарение с поверхности озера достигает своего минимума, а иногда даже происходит обратный процесс—конденсация водяного пара из воздуха на более холодной поверхности озера.

Вторичное увеличение осадков в сентябре также нельзя связать с увеличением испарения озера, так как такой же рост осадков, а иногда и более значительный, наблюдается и в других районах Закавказья, куда уже безусловно не проникает влияние озера. В подтверждение этого на рис. 23 изображен годовой ход осадков на двух наиболее удаленных от озера станциях Армянского нагорья—Ленинакан и Шуша. Что касается осадков в бассейне Севана, то последние представлены двумя станциями на противоположных берегах озера—Севан (Еленовка) и Басаргечар.

Несоответствие в годовом ходе осадков и испарения с зеркала озера Севан достаточно убедительно говорит об отсутствии прямой связи между этими двумя явлениями.

Естественно возникает вопрос, куда же девается миллиард с четвертью кубических метров воды, который ежегодно испаряется с поверхности озера.

Прежде чем ответить на этот вопрос, попытаемся объяснить происхождение севанской пловиметрической аномалии. В последние годы в специальной литературе неоднократно подчеркивалось отрицательное влияние морей и больших озер на количество осадков, выпадающих на их берегах и на самой водной поверхности, но до настоящего времени главное внимание привлекали к себе равнинные побережья. Классическим примером являются ближайшие к Севану берега Каспия, где наблюдается минимальное количество осадков во всем Закавказье. То же происходит в районе Аральского моря, Балхаша и всех вообще равнинных озер аридной зоны. Но и в северных районах часто можно наблюдать, как количество осадков возрастает по мере удаления от берегов. Так количество осадков на станции Клименецкой посреди Онежского озера меньше, чем где-либо в бассейне этого озера.

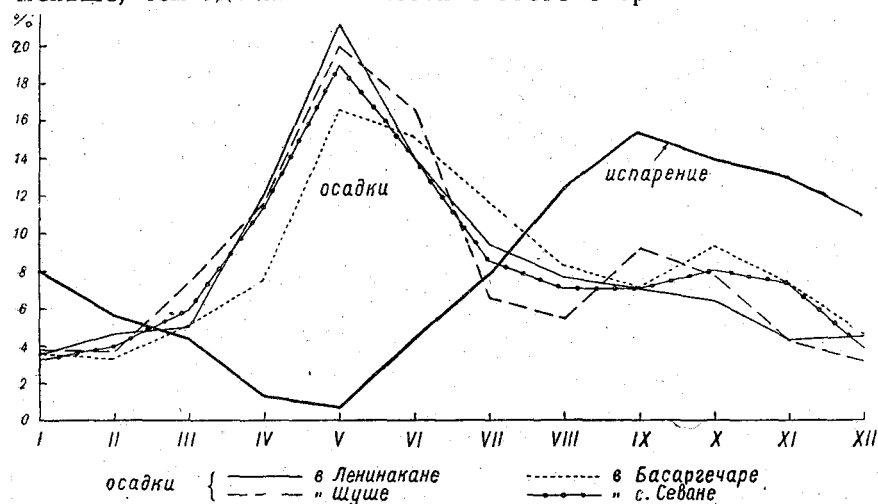


Рис. 23. Годовой ход осадков и испарения озера Севан.

В Швеции на берегах Балтийского моря и больших озер (Венер, Веттер и пр.) осадков меньше, чем в некотором удалении от них (см. карту А. Wallen'a).¹

На островах Средиземного, Адриатического и Эгейского морей,² как правило, выпадает значительно меньше осадков, чем на континенте. То же наблюдается и в Балтийском море.

Ряд аналогичных примеров из разных климатических районов приводит Л. С. Берг.³

Долгое время считали, что Великие озера Северной Америки представляют в этом отношении исключение. Однако С. Е. Grunsky,⁴ подсчитав средние годовые количества осадков, выпадающих на поверхности этих озер и на их водосборной площади, приводит следующие данные:

	Верхнее озеро	Озера Мичиган—Гурон	Озера Эри—С. Клер
На площади бассейна	728 мм	876 мм	890 мм
На зеркале озера	721 "	796 "	785 "

¹ Nederbördskartor over Sverige. Meddel. Meteor.-Hydr. Anst., II № 3. 1924, Stockholm.

² E. Alt. Klimakunde von Mittel- und Südeuropa. Handb. d. Klimatol., Bd. III. 1932.

³ Л. С. Берг. Основы климатологии. 1927.

⁴ Цитируем по А. S. Henry-Horton Grunsky. On the hydrology of the Great Lakes. Monthly Weather Review, № 1. 1928.

а С. В. Odell¹ приводит и другие доказательства климатического влияния оз. Мичиган; в частности он отмечает сравнительное уменьшение осадков весной и летом и увеличение их осенью и зимой на том берегу, который находится под наибольшим влиянием этого водоема.

Уменьшение осадков на берегах морей и озер именно в летние месяцы отмечалось многими исследователями. Объяснение этому явлению заключается в термодинамических условиях, создающихся в слоях воздуха над поверхностью воды.

Изучая распределение облачности над Боденским озером, W. Pepler² указал, что в дневные часы летом уменьшение температуры с высотой приближается к адиабатическому, свидетельствуя о поднятии вверх нагретых у земной поверхности масс воздуха. В то же время над Боденским озером 70% змейковых наблюдений показало термическую инверсию в нижнем слое воздуха, мощностью около 170 м. К водной поверхности прилегает более плотный воздух, и восходящие токи здесь не развиваются. В результате над озером редко образуются кучевые облака.

Обратимся теперь к озерам, окруженным горами, т. е. находящимся в условиях, аналогичных с Севаном.

На Байкале³ на о. Ольхоне в среднем за год выпадает 169 мм осадков, и местные жители вынуждены прибегать к искусственному орошению; на Ушканьем острове выпадает 268 мм осадков, а на южном берегу у Мысовой свыше 500 мм. В ближайшем пункте за пределами бассейна озера, в Иркутске, количество осадков вновь уменьшается (465 мм). К сожалению, нет никаких данных об осадках на склонах и вершинах окружающих Байкал гор, но, повидимому, оно значительно больше, чем на побережье, особенно в южной части бассейна.

Ясно выражен минимум осадков и в бассейне озера Зайсан, о чем свидетельствует карта осадков на территории Казахстана, составленная В. Н. Лебедевым.⁴

Весьма показательна также плювиометрическая депрессия на карте-изогиет в районе озера Иссык-куль, которое во многих отношениях является наилучшим аналогом Севана из всех озер земного шара.

Нельзя, конечно, забывать и обратных примеров, когда именно на берегах морей и крупных озер выпадает значительно больше осадков, чем внутри страны, например, в пределах того же Закавказья — на Батумском и Ленкоранском побережьях. Но для этого требуется сочетание целого ряда условий: интенсивного испарения с большого водного пространства, высоких прибрежных гор, создающих препятствие на пути насыщенных влагой воздушных масс, соответствующих термических условий, значительной влажности воздуха, благоприятного направления ветра и пр. На Севане, видимо, нет всех этих условий, да и самый масштаб происходящего здесь процесса испарения недостаточно велик, чтобы давать заметный эффект.

Однако было бы ошибочным относить местную плювиометрическую аномалию исключительно за счет влияния озера. Еще большее значение, чем присутствие озера, имеет котловинная форма рельефа.

В самом деле, если выше приведен ряд примеров отрицательного влияния водоемов на количество осадков, выпадающих на их берегах, то не менее убедительны примеры такого же отрицательного влияния и замкнутых в горах котловин.

В пределах того же Закавказья, в частности в Армении, известно

¹ С. В. Odell. Influences of Lake Michigan on east and west shore climates. Monthly Weather Review, № 11. 1931.

² Annalen der Hydrographie, Bd. XI. 1926.

³ А. Вознесенский. Очерк климатических особенностей Байкала. 1908.

⁴ В. Н. Лебедев. Климатический очерк Казахстана. Изд. Ак. наук. 1928 г.

несколько местных плювиометрических депрессий, большинство которых связано с особенностями рельефа. Иногда эти аномалии настолько сильно выражены и на первый взгляд неожиданны, что сперва закрадывается сомнение в надежности данных, особенно когда эта аномалия очень мала по площади и обнаруживается наблюдениями какой-либо одной метеорологической станции.

На карте распределения осадков в Южном Закавказье (приложение II), кроме севанской аномалии, можно отметить местную плювиометрическую депрессию в долине р. Бамбак-чай, между г. Кировакан (Караклис) и Джаджурским перевалом, и в верховьях р. Базар-чай у с. Сисиан (Каракилиса). Даже засушливость Араратской долины в значительной мере объясняется той же котловинной формой рельефа.

Самый бассейн Севана представляет в этом отношении несколько любопытных деталей. Мазринская долина по форме рельефа является как бы продолжением озерной мульды на юго-восток, что тотчас же находит себе отражение и в направлении изогнет. Замыкающие севанскую котловину горы довольно правильным амфитеатром окружают озеро со всех сторон. Только в юго-западной части рельеф образует как бы замкнутую нагорную долину, где берет начало р. Адиаман-чай от слияния нескольких рек. Изогнеты почти в точности повторяют эту особенность рельефа, и лежащая недалеко от центра долины метеорологическая станция Яных обнаруживает местный минимум осадков.

Эта особенность распределения осадков в горных странах — хорошо известный в климатологии факт. В малых масштабах она наблюдается почти во всех горных странах и не только в замкнутых котловинах, но очень часто и в долинах между параллельными цепями гор. Классическим примером могут служить долина р. Сакраменто и Долина Смерти в штате Калифорнии. Те же явления сильно развиты в центральных нагорьях в Андах и в Центральной Азии. Известны они и в Швейцарских Альпах, где не мало долин со столь сниженным количеством осадков по сравнению со склонами окружающих гор, что его нельзя объяснить одной лишь разностью высот.¹

Если таково влияние замкнутых форм рельефа на количество выпадающих осадков, то в условиях Севана наблюдается совместное действие обоих факторов — и озера и глубокой котловины.

Выше уже отмечалось, что влиянию котловины мы склонны придать даже большее значение, чем влиянию самого озера. Подтвердить это можно тем, что отрицательная плювиометрическая аномалия наблюдается в течение всего года. Постоянно же действующей причиной является лишь рельеф, а влияние озера, как и всякого водоема, должно носить сезонный характер.

Таким образом в бассейне Севана создаются особо неблагоприятные условия для конденсации и выпадения осадков, несмотря на наличие дополнительного местного источника влаги в виде испарения с зеркала озера.

Отсюда следует вывод, что при сокращении площади озера или даже при полном его осушении нет никаких оснований ожидать уменьшения осадков в его бассейне. Можно лишь говорить об уменьшении содержания влаги в воздухе, особенно в его нижних слоях.

Последнее подтверждается схемой распределения влажности воздуха в бассейне Севана. В этой же схеме заключается и ответ на ранее поставленный вопрос о том, куда девается испаряющаяся с озера масса воды.

¹ Maurer und O. Lütshg. Zur Meteorologie und Hydrologie des Jungfraugebietes. Hochalpine Forschungsstation Jungfraujoeh. 1931.

Влажность воздуха

Ниже даны средние годовые величины абсолютной влажности воздуха на довольно значительной территории Закавказья. Данные эти, заимствованные из очерка Е. С. Селезневой,¹ приведены к одному уровню, именно к уровню Севана, чем достигается их сравнимость. Приведение сделано по формуле А. А. Каминского

$$V_0 = V_h (1 + 0,04 h),$$

где V_0 — абсолютная влажность воздуха на уровне моря, а в нашем случае — на уровне Севана, V_h то же на высоте h , причем h выражено в сотнях метров; при приведении к уровню Севана h следует понимать как разность высот озера и приводимой станции.

Средние годовые величины абсолютной влажности воздуха, в миллиметрах

В бассейне озера Севан	За пределами бассейна
С. Севан (Еленовка) 5,4	Нижние Ахты 5,1
О. Севан 6,1	Ереван 4,7
Семеновка 5,6	Кировакан (Караклис) 5,0
Шорджа 5,6	Ленинакан 4,7
Глаголь 6,1	Джалжур 5,0
Загалу 6,0	Красное Село 5,6
Басаргечар 5,3	Казах 5,3
Мортуни 5,3	Кировабад (Ганджа) 5,2
Яных 5,4	Зурнабад 5,2
Норадуз 5,7	Тергер 5,5
Нор-Баязет 5,5	Шуша 5,7

Только прибрежные и островная станции отличаются от внешних, не-севанских станций несколько повышенной абсолютной влажностью. На других станциях Севанского бассейна мы этого уже не наблюдаем.

Более наглядно выступает влияние озера на следующих двух схемах (рис. 24), где представлено распределение влажности воздуха на дне севанской котловины по наблюдениям 1927—1930 гг. Карты эти заимствованы из нашего очерка „Испарение с поверхности озера Севан“. При построении их были использованы наблюдения как основных, так и временных метеорологических станций, судовые наблюдения во время многочисленных рейсов по озеру и специальные наблюдения в нескольких пунктах в открытом озере. Благодаря этому, мы могли с известной степенью достоверности дать схему изолиний влажности воздуха в центральной части севанской котловины.

Влияние озера выступает здесь со всей очевидностью; вместе с тем еще раз подчеркивается ограниченность сферы этого влияния. К таким же выводам приходим мы и при изучении пространственного распределения относительной влажности и дефицита влажности воздуха.

Н. Г. Николаев² пытался выявить роль ветров в переносе водяных паров с озера и также пришел к выводу, что сфера непосредственного влияния озера ограничивается прибрежной полосой. В более удаленных от озера станциях, как например Яных и Семеновка, при ветрах с озера не обнаруживается влияние озера на состояние влажности воздуха. Правильнее будет сказать, что как здесь, так и на других удаленных пунктах, добавочное увлажнение воздуха за счет севанских испарений настолько незначительно, что не может быть обнаружено обычными методами наблюдений.

Не всегда удавалось проследить влияние озера и во время специальных „атмосферных разрезов“, произведенных Севанским бюро в разное

¹ Е. С. Селезнева. Температура и влажность воздуха в бассейне оз. Севан. Матер. по исслед., ч. III, в. 4. Лнгр., 1933.

² Н. Г. Николаев. Ветры в бассейне оз. Севан. Мат. по исслед. оз. Севан, ч. III, в. 6. Лнгр. 1934.

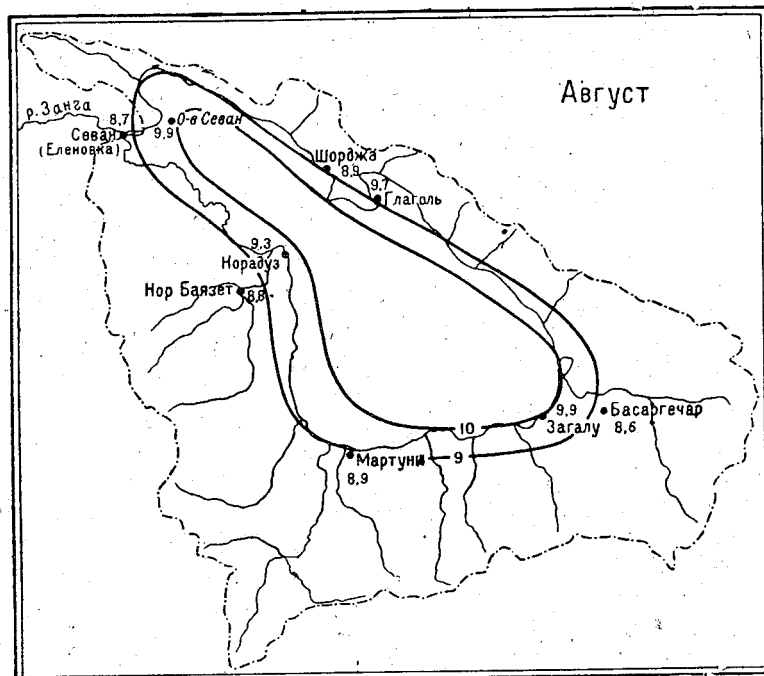
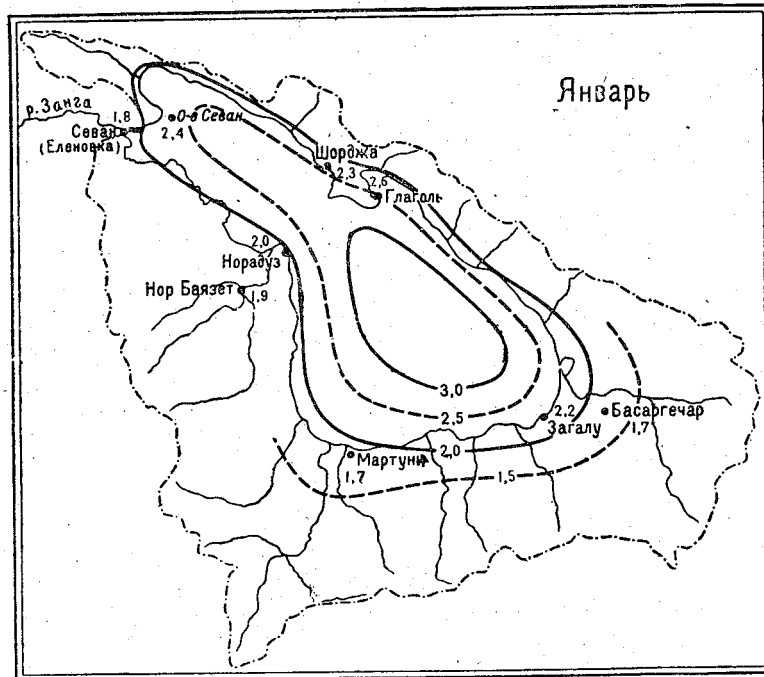


Рис. 24. Схема распределения абсолютной влажности воздуха в районе озера Севан.

время и в разных пересечениях Севанского бассейна. Во время этих наблюдений, длившихся 3—5 дней, выставлялись временные станции в нескольких пунктах, расположенных таким образом, чтобы одновременными и многократными в сутки наблюдениями были охвачены как центральная часть озера, так и его берега, склоны окружающих гор, перевалы и даже участки за пределами бассейна.

Рамки настоящего очерка не позволяют остановиться более подробно на результатах этих, безусловно, интересных работ. Ограничимся лишь замечанием, что, несмотря на отрывочность этих данных, они лишь подтвердили сказанное выше о размерах и границах ошутимого влияния озера.

Таким образом мы приходим к общему выводу, что испарение с озера, начиная с летних месяцев и до половины зимы, способствует некоторому увлажнению воздуха в нижних слоях севанской котловины. Очевидно, в верхних ее слоях эта влага растворяется в обширном воздушном пространстве, не давая при этом заметного эффекта увлажнения воздуха, и выносится ветрами общей циркуляции за пределы бассейна. Лишь небольшая часть севанских испарений вновь оседает в пределах бассейна в виде дождя, снега и почвенной влаги. Но это дополнительное питание за счет местных источников не в состоянии восполнить того дефицита осадков, который создается за счет исключительно неблагоприятных условий конденсации влаги в севанской котловине.

Необходимо подчеркнуть здесь как общую климатическую закономерность, что количество водяных паров в воздухе и количество выпадающих на данной площади осадков не находятся в прямой зависимости между собой. К сожалению, этот общеизвестный факт часто упускается из виду, и малое количество осадков нередко объясняют одной лишь защищенностью данного пункта расстоянием или горами от океанов и морей — основных источников влаги.

Абсолютно не умаляя значения этого фактора, мы хотели бы лишь раз напомнить, что местные условия, главным образом термодинамические, зачастую играют не меньшую роль. Например, неверно утверждение, что Ереванская котловина бедна осадками вследствие защищенности ее со всех сторон горами, препятствующими проникновению сюда влаги с Черного и Каспийского морей. Этот район является лишь относительно сухим, так как по абсолютному содержанию влаги в воздухе он занимает далеко не последнее место в Закавказье.

Точно так же большая абсолютная влажность воздуха на восточном берегу Каспия сочетается с исключительно малым количеством выпадающих здесь осадков. И такие примеры нередки в южных, особенно приморских областях. Другое дело — крайний север и северо-восток СССР. Здесь малое количество осадков находится в полном соответствии с ограниченным содержанием влаги в воздухе в силу местных термических условий.

Термическое влияние озера

Перейдем теперь к вопросу о термическом влиянии озера. Средние суточные и тем более месячные и годовые величины, как всегда, затуманивают некоторые существенные детали. Между тем из-за местной суточной циркуляции воздуха, т. е. смены озерных и береговых бризов, влияние озера в разное время суток и особенно при разных направлениях ветра может либо глубже проникать внутрь страны, либо, наоборот, ограничиваться более узкой береговой полосой.

С целью выявления этого фактора нами составлены две карты так называемых „термических роз ветров“ (рис. 25 и 26) по наблюдениям 1926—1930 гг.

На рис. 25 представлена средняя температура воздуха при ветрах разных румбов и относительная повторяемость этих ветров в зимние месяцы (декабрь—март) в 7 час., так как именно в это время суток зимой наблюдается максимальная разница температур воды и воздуха, и влияние озера сильнее подчеркнуто.

Рис. 26 относится к наиболее теплому сезону (июнь—сентябрь) и содержит те же данные по наблюдениям в 13 час., когда озерный бриз достигает полного развития.

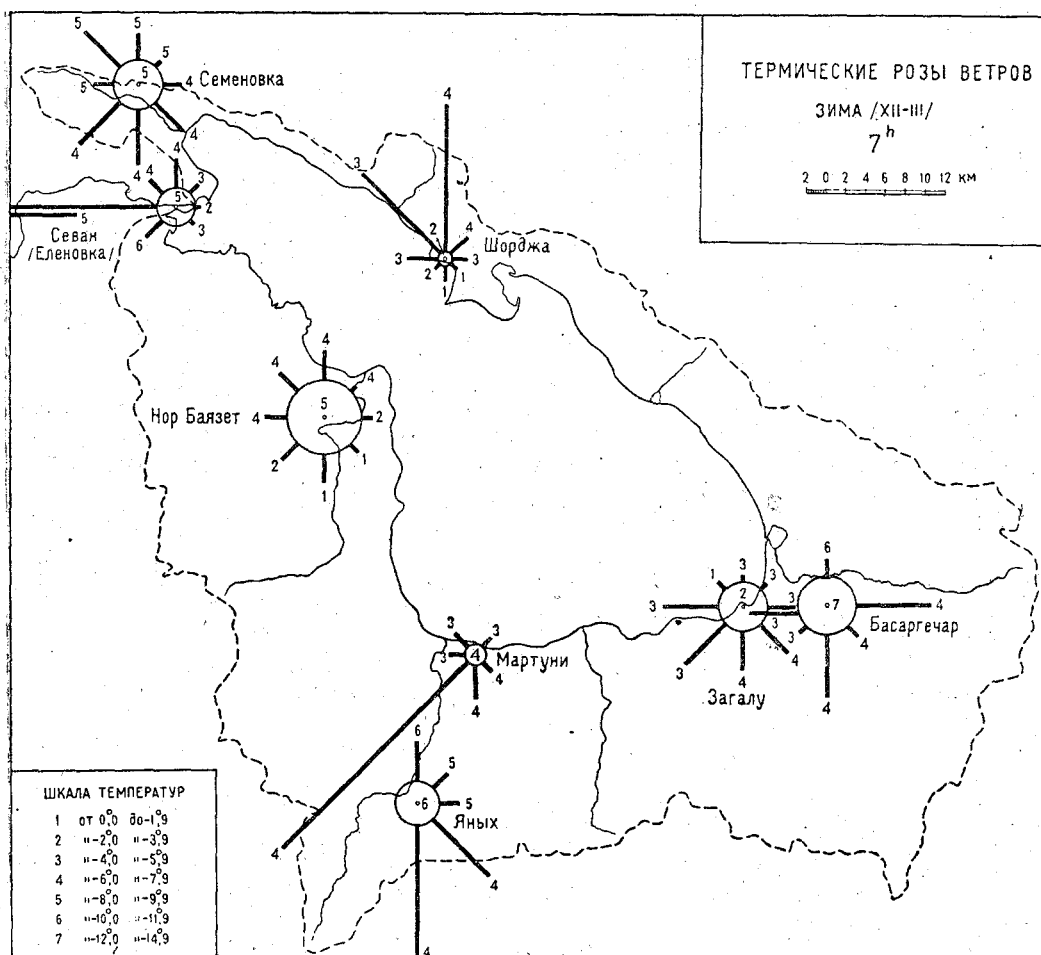


Рис. 25.

Сопоставление средних температур воздуха при ветрах с озера и с берега на всех станциях Севанского бассейна говорит о термическом влиянии озера и глубине его распространения.

Нельзя однако забывать, что понятия „ветер с озера“ и „ветер с берега“ очень условны. Они могут иметь вполне определенный смысл лишь для ветров местной суточной циркуляции. При построении же карт были использованы все наблюдения, в том числе и данные о ветрах „внешнего“ происхождения, т. е. вызванных общими синоптическими условиями. Это в значительной мере осложнило и затушевало общую картину. Один и тот же воздушный поток на одном берегу озера будет восприни-

маться как „береговой“ ветер, а на другом как „озерный“. В частности, относительно сухой по своей природе юго-восточный ветер может приносить в с. Севан (Еленовке) сухость со стороны озера и, наоборот, обычно более влажный западный ветер — влагу с суши.

И все же, несмотря на это, влияние местного климатического фактора, т. е. самого озера, выступает достаточно наглядно. Как правило,

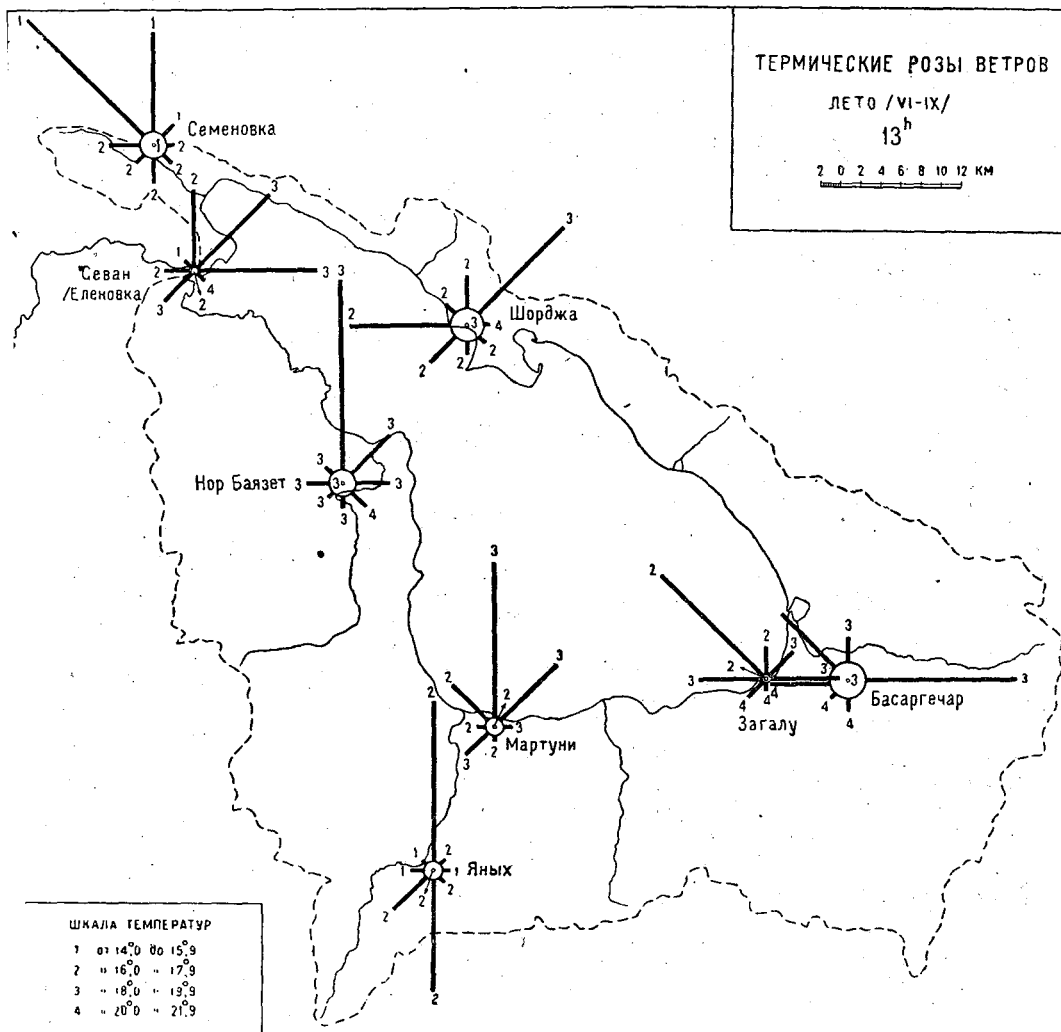


Рис. 26.

имой почти на всех станциях самые низкие температуры наблюдаются при штилях. Особенно это заметно при котловинном рельефе (Басаргечар и Нор-Баязет). Далее ясно выделяется согревающее влияние озерных ветров на всех прибрежных станциях, но уже в том же Нор-Баязете влияние фёнов почти равняется влиянию озера. В результате южные юго-западные ветры с гор являются столь же теплыми, как и ветры со стороны озера. Еще дальше от озера на станциях Яных и Семеновка термическое влияние озера совершенно не обнаруживается.

В теплый сезон различие между береговыми и озерными ветрами весьма значительно и не всегда уловимо. Судя по термическим розам ветров,

здесь преобладающими являются общие „внешние“ условия, так как независимо от положения станции на том или ином берегу озера наиболее теплыми оказываются юго-восточные ветры, как и повсюду в Закавказье. Небольшие отклонения от этой общей схемы вызваны местными вторичными факторами. Следовательно, летом термическое влияние озера даже при благоприятных направлениях ветра незначительно.

Здесь уместно отметить любопытный факт, не раз наблюдавшийся на Севане. Это — своего рода фёны из свободной атмосферы. Они являются нисходящими воздушными течениями, направленными от периферии к центру озера, взамен оттекающих отсюда с озерными бризами масс воздуха. При этом над озером наблюдается повышение температуры воздуха и уменьшение его влажности. В результате термическая роль озера еще более ослабевает.

Влияние всякого водоема прежде всего сказывается на уменьшении как суточных, так и годовых амплитуд колебаний температуры воздуха. Это влияние можно уловить уже тогда, когда средние суточные или средние годовые величины еще его не обнаруживают.

Приводимые ниже данные (табл. 25) являются весьма показательными. Они заимствованы из очерка Е. С. Селезневой.¹ Под средней суточной амплитудой мы разумеем здесь разность между суточными амплитудами температур по максимальному и минимальному термометрам. Станции в бассейне озера и за его пределами выделены в разные группы. В каждой группе станции расположены в порядке возрастания их средних суточных амплитуд.

Таблица 25

Станции	Высота над ур. моря м	Суточная амплитуда температуры воздуха, в градусах			Время наблюдений
		средняя годовая	наибольшая за месяц	наименьшая за месяц	
В бассейне озера					
Остров Севан	1918	4,6	5,9	3,0	1927—1930
Шорджа	1918	6,4	7,9	4,2	1927—1930
Семеновка	2090	7,1	8,9	5,0	1927—1930
С. Севан (Еленовка) . .	1924	7,4	9,3	5,4	1895—1930
Мартуни	1945	8,0	9,6	5,1	1927—1930
Нор-Баязет	1960	11,3	13,3	9,3	1890—1915
Басаргечар	1980	11,5	13,1	10,0	1927—1930
Вне бассейна озера					
Шуша	1368	7,4	8,8	6,5	1891—1909
Красное Село	1865	8,6	12,2	6,2	1929—1930
Нижние Ахты	1780	9,3	12,6	6,6	1928—1930
Ереван	951	10,7	13,5	6,6	1885—1913
Ленинакан	1530	10,7	13,3	7,7	1896—1929

В группе севанских станций только Семеновка расположена значительно выше уровня озера (на 174 м). Остальные лежат либо на самом берегу, либо в некотором удалении на приозерной равнине, приблизительно на одном и том же уровне. Поэтому влияние абсолютной высоты станции на величину суточных колебаний температуры воздуха здесь исключается, и остается влияние самого озера и местных условий рельефа:

¹ Температура и влажность воздуха в бассейне озера Севан. Мат. по иссл. оз. Севан. ч. III, вып. 4. 1932.

Обратим внимание на порядок расположения станций в табл. 25 и на абсолютные величины амплитуды. Как и следовало ожидать, станция на о. Севан обладает наиболее ровным ходом температур: средняя суточная амплитуда температур составляет всего 4°,6. Чем дальше от берега, тем больше становятся амплитуды. Резко выделяются своими значительными амплитудами станции Нор-Баязет и Басаргечар, в 5—7 км от берега (свыше 11°,0). Три остальных прибрежных станции занимают промежуточное положение. Эта закономерность четко выявляется несмотря даже на различную продолжительность наблюдений на разных станциях.

Если сопоставить севанские станции с соседними, то амплитуды суточных колебаний температуры воздуха в бассейне озера никак нельзя признать малыми. Оказывается, что станции Нор-Баязет и Басаргечар обладают даже большими амплитудами, чем такие котловинные и заводомо «континентальные» станции, как Ереван и Ленинакан, несмотря на меньшую высоту последних над уровнем моря.

На остальных станциях, расположенных за пределами Севанского бассейна, суточные колебания температуры лишь немногим больше, чем на прибрежных станциях в бассейне озера, и лишь о. Севан не имеет аналога среди станций не только рассматриваемого района, но и всего Южного Закавказья.

Эти факты приводят к следующим выводам. В бассейне Севана, как уже отмечалось раньше, одновременно действуют два климатических фактора: наличие самого озера и котловинная форма рельефа. В отношении суточного хода температуры воздуха эти факторы, как известно, оказывают противоположное действие. Если бы не влияние озера, то во всем бассейне, и особенно на дне котловины, мы наблюдали бы столь же резкие колебания температуры, как в Басаргечаре и Нор-Баязете, а может быть даже и несколько больше. Но присутствие большого водоема смягчает в прибрежной зоне эти амплитуды, а на о. Севан озеро оказывает даже большее влияние, чем положение станции на дне котловины.

Такая же закономерность наблюдается и в распределении годовых амплитуд температуры воздуха. В северо-восточной части Малого Кавказа, по долине р. Куры [станции Казах, Тауз, Кировабад (Ганджа)] годовая амплитуда средних месячных температур воздуха почти повсюду составляет 24°. При продвижении на юго-запад в горы изолинии амплитуд постепенно падают, достигая минимума в 20° на лесных склонах Крайних гор Армянского нагорья.¹ Немного не доходя до границы с бассейном р. Аракс и далее в его пределах годовые амплитуды начинают быстро возрастать и на дне Араратской долины достигают своего максимума в 30°. Таким образом, если пренебречь отдельными местными аномалиями, то указанная схема вполне согласуется с известным климатическим законом увеличения годовых температурных амплитуд на дне долин и сглаженности их в нагорных, особенно лесных зонах.

Эта довольно строгая схема резко нарушается в пределах Севанского бассейна. Вместо нарастания амплитуд от периферии к центру котловины, наблюдается обратное явление — их уменьшение. В центре котловины над озером годовая амплитуда не доходит до 20°, в то время как в Мазринской равнине, не занятой водным пространством, она составляет 25°,5. Здесь, как видно, опять-таки происходит своего рода борьба двух противоположных влияний — озера и котловины.

Только выяснив роль каждого из этих факторов, мы можем лучше разобраться в сложной обстановке местных климатических условий и хотя бы приближенно наметить те изменения, которые произойдут при устранении одного из этих влияний.

¹ Мокрые горы, Памбакский и Шахдагский хребты.

Ереванская долина и особенно Карско-Ленинканское плато являются теми районами Закавказья, где все признаки континентальности климата выражены в наибольшей степени. Проходящая через эти районы годовая изоамплитуда в 30° является предельной для Закавказья. Даже в Карсе, центре стационарной области зимнего антициклона, она не превышает 31° . Поэтому можно почти с полной уверенностью утверждать, что даже при полном устранении влияния озера годовые амплитуды средних месячных температур воздуха не достигнут здесь этого предела.

С другой стороны уже сейчас мы наблюдаем в Басаргечаре амплитуду в $25^{\circ},5$, и по целому ряду признаков эта станция лежит на границе термического влияния озера. Поэтому наиболее вероятным будет допустить в качестве возможного предела будущих годовых колебаний температуры воздуха амплитуду в $26^{\circ}-27^{\circ}$, вместо $21-23^{\circ}$, наблюдающихся сейчас в прибрежной зоне.

Нетрудно убедиться, что увеличение годовой амплитуды колебаний средних месячных температур воздуха произойдет главным образом за счет понижения зимних температур. Из табл. 26 видно, что в августе почти на всех станциях севанской котловины наблюдается почти одна и та же температура ($>16^{\circ}$). Если исключить станцию Шорджа, южная экспозиция которой на Гюнейском берегу способствует повышенному нагреву воздуха, то разница между средними температурами августа колеблется в пределах $0,2-0,3^{\circ}$, и только в одном случае достигает $0^{\circ},6$. В этих ограниченных пределах колебаний станции располагаются в уже известной нам последовательности, т. е. с минимумом на о. Севан ($16^{\circ},0$) и с максимумом в Басаргечаре ($16^{\circ},6$).

Таблица 26

Станции	Средняя месячная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$				Средняя годовая температура, $^{\circ}\text{C}$	Амплитуда средних месячных температур, $^{\circ}\text{C}$	Средний минимум (январь), $^{\circ}\text{C}$	Средний максимум (август), $^{\circ}\text{C}$	Амплитуда средних предельных температур, $^{\circ}\text{C}$
	I	IV	VIII	X					
О. Севан	-5,0	2,6	16,0	8,8	5,4	21,0	-7,9	18,4	26,3
Шорджа	-3,9	3,7	17,1	8,9	6,2	21,1	-7,8	20,4	28,2
Маргуни	-5,6	4,2	16,2	8,3	5,7	21,8	-10,1	19,7	29,8
Норадуз	-6,2	3,9	16,2	8,3	5,4	22,4	-	19,6	-
Загалу	-5,9	4,0	16,3	8,8	5,9	22,2	-	19,8	-
С. Севан (Еленовка)	-8,0	3,5	16,3	7,9	4,8	24,3	-12,5	20,1	32,6
Нор-Баязет	-7,4	3,8	16,2	7,0	4,8	23,6	-14,3	22,1	36,4
Басаргечар	-8,9	4,0	16,6	7,2	4,9	25,5	-16,4	21,3	37,7

Таким образом, летом влияние озера на средние месячные температуры сказывается слабо, так как охлаждающее влияние его в дневные часы компенсируется обратным действием ночью. Отсюда заключаем, что проектируемое сокращение площади и объема озера почти не отразится на средних температурах воздуха в летние месяцы.

Иная картина наблюдается зимой. Средние январские температуры колеблются на разных станциях от $-3^{\circ},9$ до $-8^{\circ},9$, т. е. в пределах $5^{\circ},0$. Согревающее влияние незамерзающего озера сказывается особенно наглядно при сопоставлении некоторых пар станций, например о. Севан с соседней с. Севан ($-5^{\circ},0$ и $-8^{\circ},0$), или Загалу с Басаргечаром ($-5^{\circ},9$ и $-8^{\circ},9$).

Если продвигаться дальше к центру озера, то влияние его будет еще сильнее. В этом отношении весьма показательны прилагаемые здесь карты изотерм января и августа (рис. 27), заимствованные из нашего очерка об

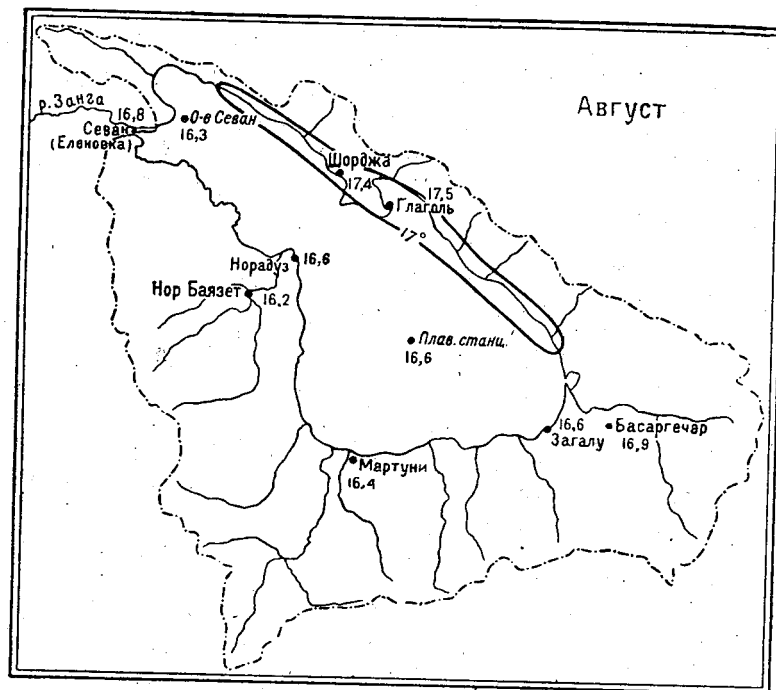
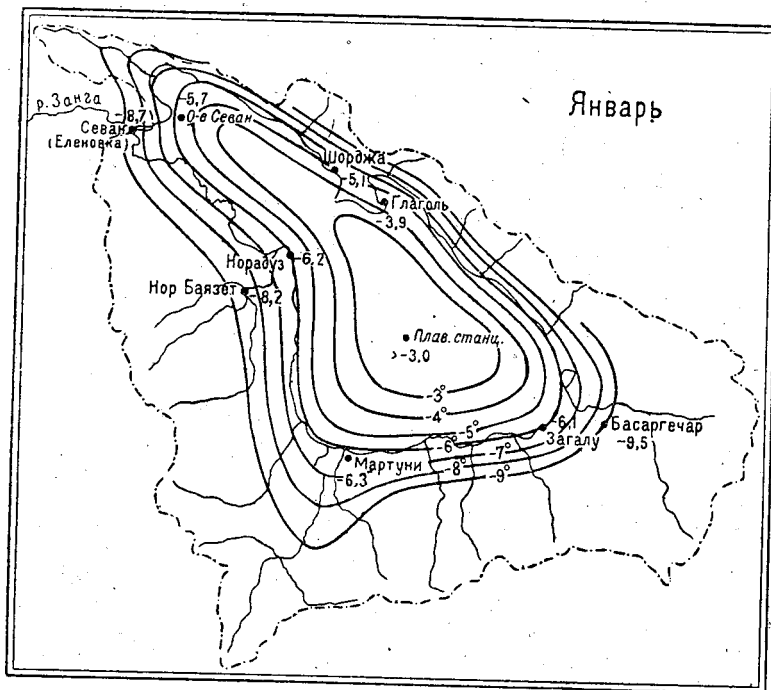


Рис. 27. Изотермы января и августа в районе озера Севан.

испарении с поверхности озера Севан. Хотя эти карты составлены по данным за четырехлетие 1927—1930 гг., но лишь в некоторых деталях они отличаются от многолетних величин, которыми мы пользуемся во всех остальных случаях.

Располагая станции в порядке убывания их средних январских температур, вновь получаем на одном конце ряда станции Шорджа и о. Севан, а на другом — Басаргечар. Выделяется также станция с. Севан (Еленовка). Она находится в проходе, открывающем доступ в севанскую котловину холодным массам воздуха, которые зимой почти непрерывно устремляются сюда из области карского барометрического максимума. Этот холодный поток, правда весьма ослабленный, чувствуется еще и на о. Севане, и потому восточный берег (станция Шорджа) зимой теплее, чем западный.

Карта изотерм января может служить классическим примером термического влияния водоемов. Здесь оно сказывается в большей мере, чем на других озерах, уступая разве лишь Байкалу.¹ Это объясняется наличием незамерзающего озера с большим запасом тепла (в январе 3—4° от поверхности до дна) в условиях довольно суровой зимы нагорной континентальной страны. В результате этого в прибрежной зоне наблюдается необычайная густота изотерм. Есть участки, где на каждый километр расстояния от берега температура воздуха изменяется зимой на 1°.

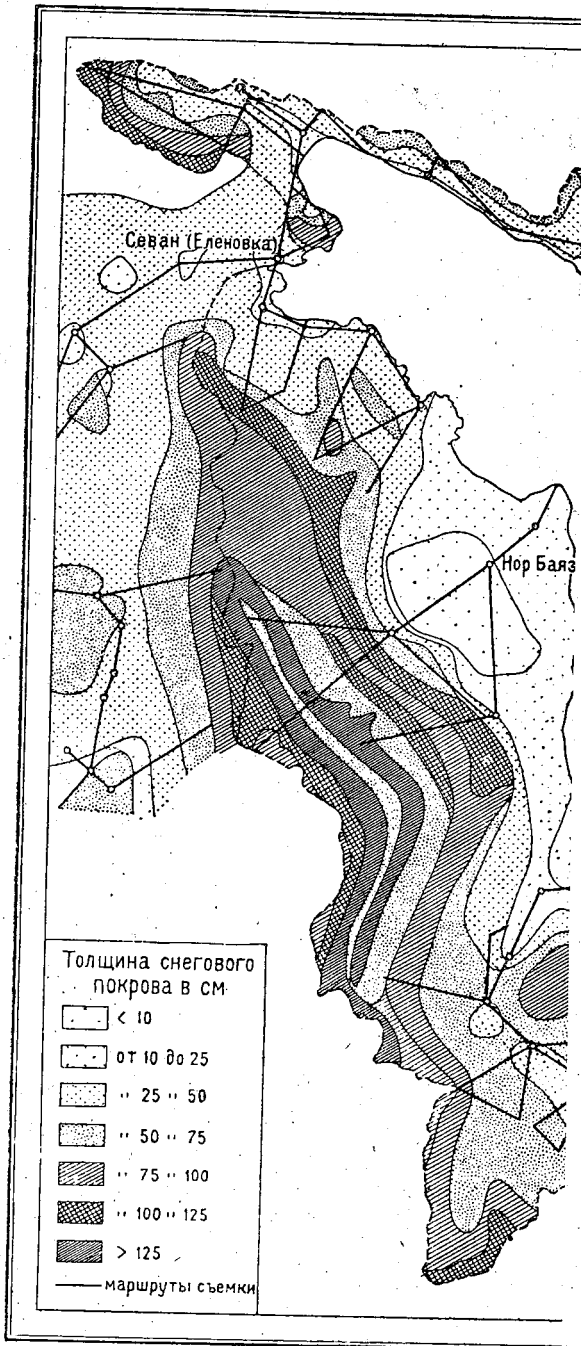
Совершенно очевидно, что при снижении уровня озера изотермы наиболее холодных месяцев станут наступать на обнажаемые участки озерной котловины и произойдет общее понижение зимних температур воздуха. На месте Большого Севана, дно которого обнажится полностью, очевидно, получит распространение январская изотерма —9°. Можно даже из осторожности сделать допущение, что вследствие инверсии температур, свойственной котловинам, средняя температура опустится до —10°, перекрыв наибольшие из известных нам минимумов Армянского нагорья: Леникан (1530 м) —9°,9, Джаджур (1837 м) —8°,0, Яных (2325 м) —9°,5.

Таким образом пределы колебаний средних месячных температур воздуха в бассейне Севана будут заключены между —10° в январе и +17° в августе, с общей годовой амплитудой в 27°. Эти величины мало отличаются от тех, которые сейчас наблюдаются на Мазринской равнине, но зато они получают значительно большее распространение, особенно в котловине Большого Севана. На побережье Малого Севана, площадь которого по проекту сократится только наполовину, все климатические элементы подвергнутся меньшим изменениям.

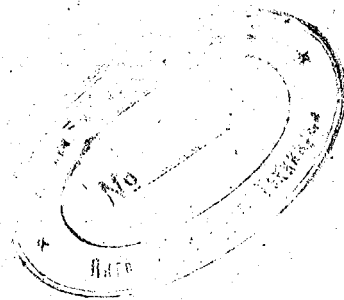
Для характеристики влияния озера весьма показательны предельные температуры воздуха. Оставляя в стороне вопрос об абсолютном максимуме и минимуме температур, ввиду недостаточности и неоднородности данных, приводим в табл. 26 средние значения максимальных и минимальных температур, кстати, весьма характерных для выявления роли озера. Температуры по максимальному термометру условно заменены здесь обычными срочными наблюдениями в 13 час.; минимум определен по минимальным термометрам.

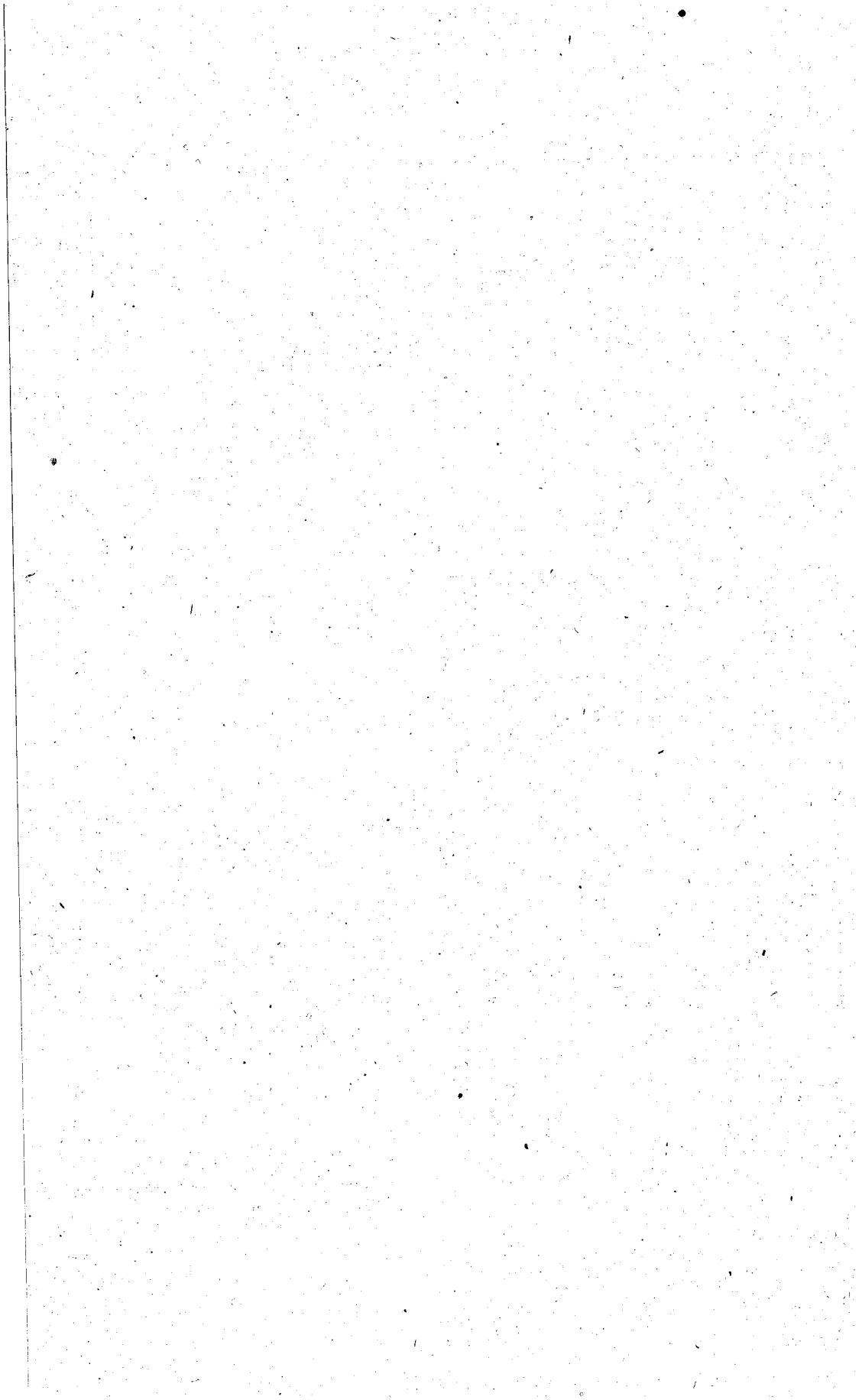
Как и следовало ожидать, наибольшими колебаниями предельных температур обладают станции Басаргечар и Нор-Баязет; за ними следует с. Севан, затем остальные прибрежные станции и, наконец, о. Севан. На большинстве прибрежных станций, несмотря на положение их внутри глубокой котловины, амплитуда колебаний такого же порядка, как и на

¹ А. В. Вознесенский. Очерк физико-географических особенностей озера Байкала. Из Лоции Байкала. 1908 г.



Сван. Ч. VI.





многих станциях лесной зоны Малого Кавказа, т. е. около 30°. На более удаленных и не подверженных влиянию озера станциях она возрастает до 36—37°, однако все же уступает амплитудам колебаний температуры воздуха на станциях Ереван и Ленинанкан (свыше 39°). Нет никаких оснований считать, что и в будущем после спуска озера амплитуда колебаний абсолютных температур воздуха выйдет из этих пределов.

Из числа остальных проявлений климатического влияния озера ниже отмечаются лишь наиболее существенные.

На прибрежных станциях Севанского бассейна наблюдается некоторое запаздывание во времени наступления максимальной и минимальной средней суточной температуры воздуха. По подсчетам Е. С. Селезневой, оно составляет 7—8 дней сравнительно с другими станциями Закавказья той же высотной зоны. Величину эту надо признать немалой, но характерно, что уже на станциях Басаргечар и Нор-Баязет этого запаздывания не наблюдается, что еще раз говорит об ограниченности зоны непосредственного влияния озера.

Точно также здесь наблюдается сокращение числа дней с морозом и увеличение оттепелей по мере увеличения „озерности“ станции. Правда, последнее обстоятельство несколько затушевано влиянием местных условий, например фёнами, экспозицией склонов и пр.

Весьма показательна табличка среднего числа дней с морозом за год:

Станции	Число дней	Станции	Число дней
Шорджа	141	Семеновка	183
О. Севан	145	Нор-Баязет	183
Мартуни	153	Басаргечар	189
С. Севан	162		

И по этому признаку севанские станции располагаются все в той же последовательности. Нельзя не отметить исключительно большую разницу в 40—50 дней на такой сравнительно небольшой территории.

Сокращение числа дней с морозом происходит преимущественно за счет осенних, а не весенних месяцев, так как именно в это время года сказывается согревающее влияние озера. Зимой по тем же причинам происходит увеличение числа оттепелей и, как следствие этого, неустойчивость и слабая толщина снегового покрова.

На рис. 28 приводится карта распределения снегового покрова в бассейне Севана, составленная Н. Г. Николаевым и Г. И. Орловым¹ по материалам снегомерной съемки в конце зимы 1929-30 г. Ценность этой работы заключается в том, что съемкой, продолжавшейся всего 7 дней, была покрыта почти вся площадь бассейна (около 3500 км²) вплоть до водораздельных гребней, а местами и за их пределами; при этом вся эта сильно пересеченная площадь лежит в пределах высот от 1900 до 3200 м.²

Толщина снегового покрова, подчиняясь в общем закону вертикальной зональности, дает все же ряд отклонений. Влияние озера сказывается особенно сильно, если сопоставить прибрежную зону с такими же по высоте участками за пределами бассейна, в долине р. Занги.

Из сказанного вытекает, что при устранении влияния озера здесь возрастет число дней с морозом, сократится число оттепелей и станет более устойчивым снеговой покров в нижней зоне котловины.

В некоторой связи со всем предыдущим стоит вопрос о термическом режиме самого озера. Как известно, озеро Севан обычно

¹ Материалы по исследованию оз. Севан, ч. III, вып. 3.

² Предельная высота отдельных вершин 3500—3600 м.

зимой не замерзает, кроме мелководных и защищенных бухт, хотя за последнее столетие оно все же несколько раз замерзало целиком — в 1834, 1846, 1864, 1873, 1890, 1905 и 1925 гг. Причиной отсутствия сплошного ледяного покрова служит целый ряд факторов; одним из наиболее важных является постоянное перемешивание охлаждающихся поверхностных слоев воды с более теплыми глубинными водами под влиянием почти непрерывных зимой ветров. Запасы тепла в озере, накопившиеся за лето, медленно расходуются в течение зимы, причем, вследствие сильных конвекционных токов во всей толще воды, создаются условия, близкие к гомотермии или, точнее, слабо выраженной обратной термической стратификации.

Минимальный запас тепла в озере наблюдается в марте, в то время как минимум температуры воздуха наблюдается в январе. При сокращении площади озера почти в 7 раз и еще большем уменьшении его объема термический режим озера, несомненно, сильно нарушится. Вследствие меньшей глубины и меньших запасов тепла, озеро станет почти ежегодно замерзать, а это в свою очередь повлечет за собой прекращение его термического влияния на окружающую местность. В меньшей мере будет сказываться влияние озера летом, и общий ход температуры воды станет более параллелен годовому ходу температуры воздуха.

Наконец, необходимо отметить еще одно обстоятельство, связанное с термическими условиями Севанского бассейна. Нам пришлось столкнуться с широко распространенным среди населения Еревана мнением, что именно присутствию озера вся долина нижней Занги обязана прохладой, которую приносят ежедневно летом в вечерние часы северо-восточные ветры.

Еще И. В. Фигуровский,¹ отмечал и объяснял происхождение коротких шквалов того же направления, проносившихся здесь в обычно тихие летние дни около 14—16 час. Несколько аналогичны по происхождению и те более длительные и ровные по силе ветры в более поздние часы, о которых только что было сказано. Здесь мы имеем дело с типичным горным ветром, устремляющимся вечером в долину, как только прекращается ее дневной нагрев. Этот ветер идет со склонов Ахманганского хребта, и случайное совпадение его с направлением от озера породило предположения об его озерном происхождении. Аналогичное явление наблюдается и в Сардарабадской долине, в частности в Вагаршапате (Эчмиадзине) и Октембериане (Сардарабаде); но там этот ветер стекает со склонов Алагеза, имея северное направление, а в Леникане тот же вечерний прохладный ветер с противоположного склона Алагеза имеет уже юго-восточное направление. Иногда можно даже наблюдать, как более холодный воздух стекает с противоположных склонов Ахманганского хребта одновременно и в долину р. Занги и в севанскую котловину.

Таким образом ереванский вечерний ветер никакой связи с озером не имеет.

Таковы общие выводы о климатической роли озера Севан и тех изменениях, которые следует ожидать в связи с осуществлением проекта понижения его уровня.

Совершенно очевидно, что эти изменения по своему характеру и размерам не могут вызвать какого-либо ущерба сельскохозяйственной жизни севанского района. В то же время воды Севана, ныне почти бесцельно растрачиваемые на испарение, с осуществлением плана строительства пройдут через турбины гидростанций, оросят новые земли и в большей мере, чем сейчас, включатся в местный влагооборот.

¹ Исследование климатов Кавказа. 1912 г.

ВИ. СХЕМА БУДУЩЕГО ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА СЕВАН

В современном водном балансе озера сток воды из озера составляет всего 8% того количества воды, которое поступает в озеро, при этом большая часть этого стока идет подземным путем и может быть использована только по выходе ее на дневную поверхность значительно ниже уровня озера; поверхностный же сток составляет менее 4%. Вся оставшаяся масса поступающей в озеро воды расходуется им на испарение.

Искусственное понижение уровня озера и сокращение его площади должно изменить соотношение между отдельными элементами баланса в более благоприятную сторону. Приходные и расходные части баланса будут меняться как под влиянием изменения гидрометеорологических условий в бассейне Севана, так и в результате изменения самой площади озера и его водосбора. Рассмотрим теперь, как будут меняться составные части баланса по мере понижения уровня озера.

Осадки на зеркале озера. При разборе климатической роли озера мы отмечали, что некоторая часть испарения с поверхности озера конденсируется и выпадает в пределах своего же бассейна, но в целом котловина Севана и самое озеро с его термическим режимом создают неблагоприятные условия для осаднения здесь приносимой извне и местной влаги. Точнее будет сказать, что из этих двух факторов котловинная форма рельефа способствует вообще уменьшению в ней осадков, а озеро лишь перераспределяет их с водного зеркала и берегов к периферии бассейна и за его пределы. В результате создается сильная плювиометрическая депрессия.

При осушении дна севанской котловины более, чем на 80%, влияние озера значительно ослабнет, усилится нагрев земной поверхности и вместе с ним усилятся восходящие токи воздуха, что в свою очередь повлечет увеличение грозовой деятельности. В конечном результате, несмотря на некоторое уменьшение содержания в воздухе водяных паров от сокращения испаряющей поверхности озера, условия для конденсации и выпадения здесь осадков станут более благоприятными. Однако значительного увеличения осадков в бассейне Севана ожидать не следует, так как все же останется влияние другого еще более важного фактора — котловинной формы рельефа.

При современной многолетней норме осадков на зеркале озера в 390 мм и тенденции к их увеличению в будущем будет целесообразно принять эту величину для первого периода понижения уровня озера и округленную величину в 400 мм для того момента, когда уровень опустится на 50 м, и обнажится полностью вся котловина Большого Севана. Общий же объем осадков, выпадающих на площадь озера будет, конечно, уменьшаться пропорционально сокращению его зеркала.

Приток воды. В верхних зонах Севанского бассейна, откуда идет главное питание озера, не следует ожидать заметных климатических изменений, а потому и каких-либо нарушений в режиме и величине стока. На дне котловины возможно некоторое увеличение осадков; кроме того, зимой здесь можно ожидать уменьшения потерь на испарение снега, которое в настоящее время довольно значительно (см. предыдущую главу и карту снегового покрова). Но, с другой стороны, именно в нижней зоне Севанского бассейна должен слегка повыситься дефицит влажности, что повлечет за собой уменьшение коэффициента стока в этой части бассейна.

Таким образом действие одних факторов будет встречать противодействие других, а так как удельный вес их к тому же невелик, то можно без большой ошибки считать, что модуль стока и в прибрежных участках бассейна останется близким к современному. Поэтому при вычислении будущего водного баланса мы будем принимать сток воды в озеро с со-

временной водосборной площади за величину постоянную. Однако самая площадь водосбора будет увеличиваться за счет сокращения зеркала озера, и это должно несколько увеличить общий приток воды в озеро.

Какова же будет величина естественного стока с осушаемой площади?

На карте изолиний стока (см. приложение III) видно, как величина его падает от периферии к центру котловины. Почти вся равнинная часть Севанского бассейна вместе с озером оконтурена изолинией в 100 мм, а на самом побережье годовой слой стока составляет в среднем 70—80 мм.

Исключение составляют северо-западная и противоположная ей юго-восточная часть бассейна. В первом случае наблюдается значительно повышенный сток в соответствии с увеличением здесь осадков, во втором, наоборот, сильно уменьшенный сток. Здесь проходит даже отрицательная изолиния, так как заболоченная Мазринская долина у озера Гилли теряет на испарение больше, чем получает осадков, и разницу покрывает сток с лежащих выше участков.

Приняв во внимание эти местные аномалии и экстраполируя изолинии дальше к центру котловины, следует наметить внутри нынешнего контура озера изолинию в 60 мм; в самом центре котловины сток будет еще меньше. В среднем со всей осушаемой площади он едва ли составит более 40 мм или около 1,3 л/сек., так как дно котловины очень плоское, и сток будет чрезвычайно замедленным. Это будут почти исключительно весенние воды от таяния снега и от обычного в Закавказье весеннего максимума дождей. В остальное время года эти новые земли не будут иметь почти никакого стока, вследствие больших потерь на испарение с поверхности почвы.

При расчете притока воды в озеро с новой площади мы исходим из предположений, что периферийные участки осушаемой территории будут давать годовой слой стока около 70 мм. По мере продвижения к центру озера сток будет уменьшаться и, начиная от 40-метровой изобаты, где дно Большого Севана принимает почти совершенно ровный характер, сток будет составлять не более 30 мм.

Однако тут же необходимо сделать две существенные оговорки. Первая связана с особенностями рельефа осушаемой площади, а вторая — с условиями залегания подземных вод.

Котловина Большого Севана, как известно, имеет блюдцеобразную форму, с почти ровным дном и приподнятыми краями. Средняя отметка дна 45—47 м, но в некоторых местах сохранились небольшие замкнутые впадины с отметками ниже 50 м. Выход из котловины запирает подводный порог у Норадузского пролива, где максимальная глубина не превышает 39 м. При понижении уровня озера на 40 м произойдет разрыв между Большим и Малым Севаном, и для дальнейшего выпуска воды из Большого Севана потребуется устройство канала или сифона. Однако наличие на дне его ряда впадин и отсутствие общего уклона к Норадузскому проливу создают препятствия для стока воды. Это обстоятельство ставит перед гидротехниками задачу обеспечить в будущем свободный пропуск речных вод по осушенной площади. В противном случае произойдет заболачивание дна котловины, и испарение с этих участков может поглотить значительную часть естественного стока.

Второе замечание связано с предположениями, что независимо от исправного действия водопроводящих каналов дно котловины будет заболачиваться выходами подземных вод. Поэтому несколько остановимся на этом вопросе.

Дно озера выстилают мощные иловые отложения. При отступании озера от современного берега эти илы в некоторых наиболее крутых местах будут смываться под действием прибоя и уноситься с отступаю-

щим озером, а существующие неровности подводного рельефа еще более сглаживаться. Но с того момента, как склоны берега перейдут в ровное пологое дно, отступление озера пойдет очень быстро, и смывание ила прекратится. Высыхая, ил будет образовывать плотную водоупорную породу. Существование под ней подземных вод, конечно, возможно, если они имеются и в настоящее время. В этом случае на дне котловины будут наблюдаться условия напорных артезианских вод. Выходу их на дневную поверхность будет препятствовать мощный и плотный слой ила. В местах же случайных разрывов или отсутствия этого слоя может действительно наблюдаться местное заболачивание, аналогичное выходам родников в долине Аракса. Целесообразность осушения этих мест будет зависеть от площади этих болот и технических и экономических расчетов. Вообще же оно будет весьма желательным не только для уменьшения потери воды на испарение, но и по санитарным соображениям.

Так рисуется этот вопрос с точки зрения условий залегания и возможности выхода подземных вод. Но возникает вопрос о наличии этих вод в таком количестве, которое необходимо для постоянного существования болота.

Простой расчет говорит, что в климатических условиях севанской котловины для постоянного существования 1 км² бессточного болота требуется 500 000 м³ воды в год на покрытие разности между величиной испарения и осадков; при наличии же стока из болота потребуются еще большее количество воды. Уже одни эти элементарные подсчеты исключают возможность сплошного или даже значительного заболачивания севанской котловины подземными водами.

В самом деле, выше при рассмотрении вопроса о подземном или, вернее, подводном питании озера приводилась ориентировочная величина его в 0,8 м³/сек. или около 25 млн. м³ в год. Главную часть этого притока составляют выходы подземных вод на самом уресе озера, в виде разорванной цепи заболоченных участков и родников, подпираемых озером.

При понижении его уровня большинство этих вод получит свободный выход на дневную поверхность и увеличит поверхностный сток. Только незначительная их часть опустится ниже под слой ила, перейдя в зону глубоких напорных вод. Предполагать же, что эти глубокие горизонты могут питаться какими-либо дальними водами, идущими из-за пределов Севанского бассейна, нет никаких оснований, особенно, если учесть высотное положение и орографические условия бассейна. Следовательно, даже при отсутствии водоупорного слоя ила подземные воды не могли бы вызвать большого заболачивания вследствие их недостаточности. Говорить же о каких-либо ювенильных водах, не участвовавших до сих пор в нашем водном балансе, не приходится.

В связи с только что рассмотренным вопросом находится еще одно замечание, относящееся к расчету стока воды с водосборной площади.

В настоящее время площадь заболоченных участков на берегах Севана составляет около 30 км². Большая часть этой площади приходится на долю окрестностей озера Гилли и низовьев р. Мазры. Причиной заболачивания является как выход подземных вод, так и недостаточность уклона поверхностных вод. Одно только Гильское болото теряет дополнительно на испарение около 10 млн. м³ воды в год или 0,3 м³/сек. При понижении уровня озера постепенно исчезнут эти заболоченные площади, и сократятся потери на испарение. Мы имеем право включить эту величину в приходную часть будущего водного баланса, но не делаем этого, полагая, что этот избыток, всего около 15 млн. м³ пойдет на покрытие потерь на испарение с тех новых озерков на дне котловины Большого Севана, которые останутся на месте небольших

впадин, и осушать которые будет нецелесообразно. Следует помнить, что все приведенные теоретические расчеты относятся к величине естественного стока воды с водосборной площади. Действительная величина притока воды в озеро будет зависеть от гидротехнических мероприятий для пропуска вод в Малый Севан и осушения котловины Большого Севана, а также от величины разбора воды на орошение вновь освоенных земель.

Испарение. Прямых указаний на характер изменения величины испарения с понижением уровня озера не существует, но косвенным путем можно о ней судить по изменению климатических условий.

Как известно, уменьшение площади озера, его глубины и объема будет сопровождаться следующими изменениями в гидрометеорологическом режиме: летом — повышением температуры воздуха, увеличением дефицита влажности и несколько большим, чем сейчас, прогреванием самого озера; зимой — обратными явлениями вплоть до замерзания всего озера, чего сейчас не наблюдается.

Все это должно вызвать усиление испарения весной и летом и уменьшение его осенью и зимой, так как испарение с поверхности льда — величина незначительная.

Кроме того, должно произойти ускорение сроков наступления минимума и максимума температуры воды и особенно испарения. Это обстоятельство может иметь благоприятное значение для сельскохозяйственных целей, так как в настоящее время наибольшее количество влаги от испарения озеро дает осенью, в сентябре и октябре, уже после созревания всех культур.

Изменения в годовой сумме испарения будут очевидно небольшими. Над зеркалом озера влажность воздуха и впредь будет оставаться повышенной против остальной части бассейна, хотя и в меньшей мере, чем сейчас. Вместе с небольшим повышением температуры воды это может вызвать увеличение дефицита влажности в летние месяцы в среднем на 0,1—0,3 мм. Но одновременно повышение испарения будет компенсироваться уменьшением его в зимние месяцы, когда озеро станет замерзать.

В настоящее время средняя годовая величина испарения составляет 855 мм. Можно допустить, что по мере уменьшения площади и глубины озера она может увеличиться до 900 мм. Сезонные же величины будут подвержены значительно большим изменениям. Особенно интенсивным станет летнее испарение с того момента, как озеро понизится на 40 м, и Большой Севан станет мелководным и сильно прогревающимся водоемом.

Подземный сток. Мы уже, знаем что даже небольшие колебания уровня озера влекут за собой изменение величины подземного стока. Это может происходить лишь при условии, что просачивание воды происходит в верхнем горизонте озера. А. П. Соколов определяет этот слой в 1—3 м. Нами было уже высказано предположение, что плотные отложения ила на дне озера образуют непроницаемую для воды среду, и что подземная утечка ее из озера так же, как и подземный приток, могут иметь место лишь в зоне волноприбойной деятельности, где не откладываются наиболее мелкие фракции грунта. К таким же выводам о глубине слоя фильтрации приходит и геолог С. С. Кузнецов.¹

Отсюда можно было бы заключить, что подземный сток воды из озера прекратится в первые же годы понижения его уровня. Но при отступании берега вместе с ним будет перемещаться и волноприбойная зона. Слой иловых отложений будет метр за метром разрушаться, взмучи-

¹ Гидрогеологический очерк бассейна озера Севан. Изв. Акад. наук. 1930.

ваться и уноситься в глубь озера. Этот смыв илов прекратится лишь тогда, когда уклоны дна станут более пологими.

Указать сейчас момент полного прекращения фильтрации воды из озера мы не можем. Судя по некоторым деталям подводного рельефа Еленовского залива и по предполагаемой глубине залегания здесь водо- непроницаемых пород, можно думать, что он наступит при понижении уровня озера всего на 10 м.

Схема нового водного баланса

При расчете нового водного баланса озера Севан мы пользовались, с одной стороны, данными об изменении площади озера и его водосборного бассейна на основании новой батиметрической карты И. А. Киреева 1932 г., а, с другой стороны, вышеприведенными соображениями об изменении величины осадков, стока и испарения. Эти расчетные данные подытожены в табл. 27.

Таблица 27

Изобаты м	Площадь озера км ²	Осадки на зеркале озера, мм	Испарение с поверхности озера, мм	Площадь между двумя изобатами, км ²	Сток с осушаемых площадей, мм
0	1 416	390	855		
10	1 331	390	860	85	70
20	1 227	390	870	104	60
30	1 102	390	880	125	50
40	904	390	900	198	40
50	239	400	900	665	30
60	176	400	900	63	30
70	89	400	900	87	30
80	10	400	900	79	30
90	0	400		10	30

Если теперь принять сток с нынешней водосборной площади неизменным, а фильтрацию прекращающейся при понижении уровня озера на 10 м, то весь водный баланс озера можно представить в следующем виде (табл. 28).

Таблица 28

Водный баланс озера Севан при различном понижении его уровня

Понижение уровня озера, м	Осадки на зеркале озера	Приток воды в озеро	Весь приход воды в озеро	Испарение с поверхности озера	Сток воды из озера
0	552	770	1 322	1 212	110 ²
10	519	776	1 295	1 145	150
20	479	782	1 261	1 067	194
30	430	788	1 218	970	248
40	353	796	1 149	814	335
50	96	816	912	215	697
60	70	819	889	158	731
70	36	821	857	80	777
80	4	823	827	9	818
90	0	823	823	0	823

² В том числе поверхностный сток 50 млн. м³.

В табл. 28 в первой строке приведен современный водный баланс озера (понижение уровня равно 0 м), в последней—баланс совершенно осушенного от озера бассейна, из которого постоянно вытекала бы река с годовой мощностью в 823 млн. м³ или 26 м³/сек.

По мере понижения уровня озера и сокращения его площади приходная часть баланса все время падает, но так как расход на испарение

уменьшается еще быстрее, то в результате свободные избытки воды (или иначе сток из озера) непрерывно возрастают.

Если проследить за постепенным изменением отдельных элементов баланса, то легко заметить резкий перелом, который намечается с переходом от 40- до 50-метровой изобаты (см. рис. 29). Это и понятно, так как суммарная величина осадков и испарения с поверхности озера уменьшается почти строго пропорционально площади озера.

Резкий перегиб батиметрической кривой (см. рис. 8 на стр. 11) вызывает почти столь же резкое изменение и всего баланса. Переломный момент наступает тогда, когда из площади озера выключается весь Большой Севан.

Опускание горизонта озера на 40 м дает увеличение годового стока с 100 до 335 млн. м³. При понижении уровня на 50 м сток возрастает сразу до 697 или, округленно, 700 млн. м³. Дальнейшее понижение дает уже небольшой дополнительный выигрыш, и вместе с тем теряется значение озера как бассейна регулирования стока. При таком

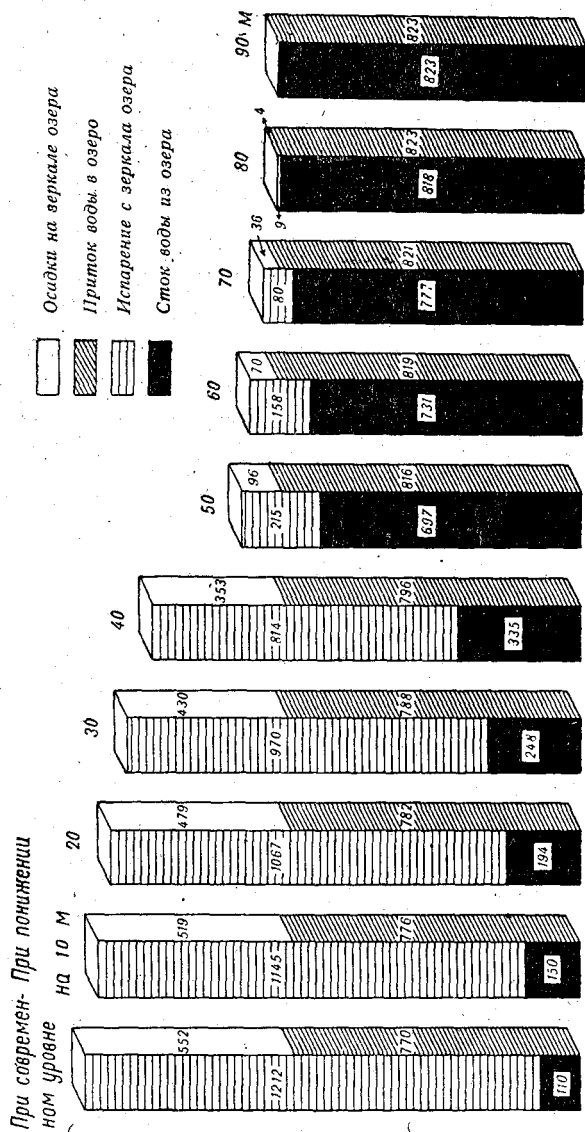


Рис. 29. Диаграмма изменения элементов водного баланса озера Севан по мере понижения его уровня.

понижении уровня все еще остается значительный водоем с площадью в 239 км² средней глубиной 17 м и максимальной почти в 50 м. Поэтому и представляется наиболее рациональным остановиться на этой или близкой к ней отметке. Таким образом при новом положении уровня озера получается увеличение естественного стока более чем в 6 раз.

Любопытно еще одно сопоставление. Среднее количество осадков во всем бассейне озера при его площади в 4891 км² равно 540 мм. Исход

из этого, определяем коэффициент современного стока Севанского бассейна, который можно назвать коэффициентом его „полезного действия“, в 0,04, причем коэффициент поверхностного стока не составляет даже 0,02. Иными словами имеем почти бессточное озеро. При снижении уровня озера на 50 м и соответствующем сокращении его площади получаем новый коэффициент стока 0,26.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате осуществления проблемы озера Севан народное хозяйство Советской Армении и всего Закавказья получает постоянный и свободный запас воды в 700 млн. м³ ежегодно, который в силу своего высотного положения (1860 м)¹ представляет мощный и неиссякаемый источник потенциальной энергии с неограниченными возможностями регулирования и который командует над всеми подлежащими орошению землями исключительной сельскохозяйственной ценности.

Кроме этого постоянного и ежегодного запаса воды, в фонд эксплуатируемых природных богатств страны вводятся вековые запасы воды озера в 55 млрд. м³, которые должны быть использованы прежде, чем наступит новое равновесие водного баланса озера. Эти вековые запасы, в зависимости от потребностей народного хозяйства, могут быть израсходованы в любой срок и во всяком случае обеспечивают на несколько десятилетий удвоенные против вышеуказанных попуски воды из озера.

После снижения уровня Севана остается озеро площадью еще 240 км², которое обеспечивает интересы рыбного хозяйства и регулирование стока. Наконец, земельный фонд страны увеличивается почти на 118 000 га.

¹ После понижения уровня озера.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Краткая характеристика бассейна озера Севан	3
Основные физико-географические черты	3
Морфометрия озера Севан	9
II. Колебания уровня озера	12
Приращение уровня и объема воды в озере	15
III. Приход воды в озеро	17
Осадки в бассейне озера	17
Карта изогиег Севанского бассейна	17
Осадки на зеркале озера	20
Многолетние нормы и пределы колебаний осадков	21
Приток воды в озеро	22
Речная сеть бассейна озера Севан	22
Естественный сток воды с водосборной площади	24
Расчет притока воды в озеро	27
Подземный приток воды в озеро	29
Колебания годового притока и многолетние нормы	31
Коэффициент стока	33
IV. Расход воды из озера	35
Поверхностный сток	35
Подземный сток	39
Испарение с зеркала озера	44
V. Современный баланс озера Севан	51
VI. Перспективы изменения климатических условий в связи с сокращением площади озера	56
Осадки	56
Влажность воздуха	63
Термическое влияние озера	65
VII. Схема будущего водного баланса озера Севан	75
Осадки на зеркале озера	75
Приток воды	75
Испарение	78
Подземный сток	78
Схема нового водного баланса	79
Заключение	81

Ответств. редактор *А. С. Смирнов.*

Техн. редактор *Т. Л. Лейкина*

Корректор *Н. П. Ивашкова.*

Леноблгорлит № 457. Издание № 117. Сдано в набор 20/XI 1937 г. Подписано к печати 8/II 1938 г. Колич. учетно-авт. листов $8\frac{3}{8}$. Печ. л. $5\frac{1}{8}$. Колич. бум: лист. $2\frac{9}{16}$. Колич. зн. на бум. листе 133 000. Ст. форм. бум. $74 \times 110\frac{1}{16}$. Заказ № 2554. Тираж 700 экз.

2-я типо-литография Гидрометеиздата, Ленинград, набережная 9 Января, 32.