

КОМИТЕТ ПО ИЗУЧЕНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОЗЕРА СЕВАН
ПРИ СОВЕТЕ НАРОДНЫХ КОМИССАРОВ ЗСФСР

СЕВАНСКОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ БЮРО

МАТЕРИАЛЫ

ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ОЗЕРА СЕВАН И ЕГО БАССЕЙНА

Под редакцией профессора В. Г. ГЛУШКОВА
и Завед. Севанским Бюро В. К. ДАВЫДОВА

ЧАСТЬ IV. ВЫПУСК 2

С. Я. ЛЯТТИ

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ОЗЕРА СЕВАН

ЛЕНИНГРАД
1932

КОМИТЕТ ПО ИЗУЧЕНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОЗЕРА СЕВАН
ПРИ СОВЕТЕ НАРОДНЫХ КОМИССАРОВ ЭСФСР

СЕВАНСКОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ БЮРО

551.48

M-34

МАТЕРИАЛЫ

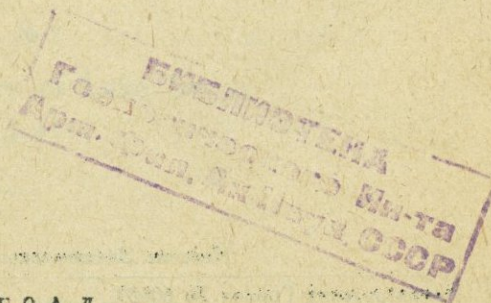
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ОЗЕРА СЕВАН И ЕГО БАССЕЙНА

Под редакцией профессора В. Г. ГЛУШКОВА
и Завед. Севанским Бюро В. К. ДАВЫДОВА

ЧАСТЬ IV. ВЫПУСК 2

С. Я. Ляtti

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ОЗЕРА СЕВАН



ЛЕНИНГРАД

1952

Издание Закавказского Севанского Комитета.

Ленинградский Горлит № 60689.

Тираж 750. Объем 2½ п. л. Зак. № 4107,

Тип, Госфиниздата СССР, им. Котлякова, Ленинград. кан. Грибоедова, 30-32,

ԱՖԽԱՆԱՆԻ ԺՈՂՈՐԴԱՅԻՆ ԿԻՑ
ՍԵՎԱՆԱՆ ԼՃԻ ՌԵՍՈՐՏՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՅԵՎ. ՌԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ԿՈՄԻՏԵ
ՍԵՎԱՆԱՆ. ՀԻԳՐՈՍԵՏԵՈՐՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԲՅՈՒՐՈ

Ն Յ Ո Ւ Թ Ե Ր

ՍԵՎԱՆԱՆ ԼՃԻ ՅԵՎ. ՆՐԱ ԱՎԱԶԱՆԻ ՌԵՍՈՐՏՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ

ԽՍՐԱԳՐՈՒԹՅԱՆ

ՊՐՈԲ. Վ. Գ. ԳԼՈՒՇԿՈՎ

ԵՎ ՍԵՎԱՆԱՆ ԲՅՈՒՐՈՅԻ ՎԱՐԻՆ

Վ. Կ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ

Մ. IV, 2

Ս. ՅԱ. ԼՅԱՅԻՍԻ

ՍԵՎԱՆԱՆ ԼՃԻ ՀԻԳՐՈՍԵՏԻՄԻԱԿԱՆ ԲՅՈՒՐՈՅՈՒՆ

ԼԵՆԻՆԳՐԱԴ 1932

THE COMMITTEE FOR THE INVESTIGATION OF LAKE SEVAN
at the Council of People Commissaries of the Transcaucasian S. F. S. R.

THE SEVAN HYDRO-METEOROLOGICAL BUREAU

MATERIALS

ON THE INVESTIGATION OF LAKE SEVAN AND ITS BASIN

Edited by Professor V. G. Glushkov
and the Chief of the Sevan Bureau V. K. Davydov

PART IV, № 2

Hydrochemical survey of Lake Sevan

by S. J. Latti

Leningrad 1932

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Основные принципы гидрохимической классификации озер	2
Распределение химических факторов в озере Севан	4
Кислородный режим	8
Общая соленость воды	11
Характер солености воды	12
Химизм притоков озера Севан	15
Баланс солей оз. Севан	19
Общая оценка воды	27
Выводы	29
Приложение: Карта гидрохимического обследования озера Севан.	

ԲՈՎԱՆԳԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Հիմնական սկզբունքները լճերի շիջողորմիտիվային Կլասիֆիկացիայի	2
Քիմիական ֆակտորների բաշխումը և քիմիական լճում	4
Թթվայնացման ռեժիմ	8
Ջրի ընդհանուր աղիմիությունը	11
Ջրի աղիմիության բնութագրերը	12
Սեւալիւն, լճի վճարները	15
Սեւալիւն, լճի աղերի բաշխում	19
Ջրի ընդհանուր քիմիական	27
Ցեղանկարագրություններ	29
ՀԱՎԵԼՎԱԾ՝ ՍԵՎԱՆԻ ԼՃԻ ՇԻՋՈՐՄԻՏԻՎԱԿԱՆ ԶՆՆՈՒԹՅԱՆ ՔԱՐՏԵ	

CONTENTS

	Page
Ground principles of hydrochemical lake classification	2
Distribution of chemical factors in lake Sevan	4
Oxygen regime	8
Total salinity of the water	11
Character of its salinity	12
Tributaries to lake Sevan	15
Salt balance in lake Sevan.	19
General estimation of the water	27
Conclusions	29
Supplements: Map of hydrochemical investigation the lake Sevan.	

Представляемый очерк является обобщением данных химических исследований озера Севан и его притоков на протяжении 1926 — 1930 гг. В соответствии с поставленными задачами очерк имеет целью:

1) дать характеристику химического состава воды озера и его притоков и его изменения во времени.

2) вывести баланс солей озера с объяснением статей прихода и расхода,

3) определить качества воды для агрикультурных, промышленных и других целей.

Впервые вода озера Севан подверглась химическому анализу в 1891 году. Горный инженер Жерве, по заданию исследователя Севана инж. Митте определил в ней содержание трех ионов — Ca , Cl и SO_4 и на этой базе дал принципиальную оценку ее солености.

В 1893—94 г.г. О. К. Стаховский, по заданию заведывающего рыбными промыслами на озере А. В. Золотарева, произвел в лаборатории Шелководственной станции в Тифлисе три полных анализа воды поверхностного слоя озера Севан за летнее время. Результаты всех трех анализов оказались весьма схожими между собой и мало отличаются от современных.

Далее, в отчете Гидрометрической части Водного Управления на Кавказе за 1913 г. приведены еще три кратких химических анализа севанской воды. Результаты их ниже предъявляемой химическим анализам точности.

Вот все, что имелось по гидрохимии озера Севан с его притоками до 1926 года. Из этих материалов большую ценность представляют собой анализы О. К. Стаховского; вместе с новейшими данными они дают возможность судить о составе воды озера за многолетний период.

Начиная с 1926 года развертываются гидрохимические исследования в бассейне озера Севан. С весны 1928 года и вплоть до 1930 г. стационарные исследования охватывают все озеро и главнейшие его притоки. Местоположение пунктов постоянных и спорадических выемок образцов воды для анализа обозначено на прилагаемой карте.

Всего по озеру Севан за период с 1926 по 1930 г. мы располагаем 22 полными и 218 краткими химическими анализами воды, 372 определениями кислорода и 33 определениями активной реакции (pH).

По притокам озера мы имеем за период 1928—29 гг. 37 полных и 266 кратких химических анализов воды.

Полный анализ включает количественное определение в образце воды следующих растворенных компонентов: K , Na , Ca , Mg , Fe , Al , NH_4

Cl, SO₄, NO₃, NO₂, HPO₄, HCO₃, CO₃, SiO₃, CO₂, SiO₂, сухой остаток, H₂S, окисляемость и щелочный резерв (Щ.Р.), а краткий: Cl, HCO₃, CO₃, CO₂, HPO₄, Щ.Р. и редко SiO₂ и NO₃

Все перечисленные данные вместе с описанием методики их получения входят в состав отдельного выпуска „Материалов“ исследований Севанского Гидрометеорологического Бюро (ч. IV, вып. 1), почему здесь ограничиваемся лишь приведением некоторых средних величин.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОЗЕР

Озера различных географических широт отличаются почти неограниченным разнообразием сочетаний между составом растворенных в них солей, степенью их концентрации и распределением их по площади и глубине. Однако же все озера могут быть совершенно четко классифицированы по двум основным гидрохимическим показателям:

1. степени солёности, или концентрации растворенных солей и
2. характеру солёности, определяемому количественными взаимоотношениями ионов раствора.

По первому признаку, т. е. по степени солёности или концентрации солей, различают солёные, солоноватые и пресные озера. К солёным и солоноватым принадлежат озера, вода которых содержит не менее 1 г солей на литр и отличается солоноватым или горьковатым привкусом.

Пресные озера присущи климатическим зонам, где осадки преобладают над испарением, т. е. условиям, когда независимо от размеров площади сухого бассейна озера, осадки при достаточно продолжительном времени заполняют водой всякую котловину на суше и отдают ее избыток через края котловины; если же котловина не заполняется, то потому, что избыток воды находит подземный или надземный выход из нее. Солёные озера, наоборот, присущи климатическим зонам, где испарение с водной поверхности больше выпадающих здесь осадков. С убыванием отношения осадков к испарению, при прочих равных условиях, солёность озёр увеличивается и, наоборот, возрастание этого отношения означает для данной области убывание солёности озера. Сказанное вытекает из характерного увеличения солёности озёр в направлении от полюсов к экватору. Так, например, озера тундровой и прилегающей к ней лесной зоны — Имандра, Онежское, Ладожское, Байкал и др. — обладают плотным остатком растворенных солей в пределах 20—70 мг на литр воды. Озера лесной зоны — Женевское, Цюрихское, Ильмень, Косинские и др. отличаются уже плотным остатком растворенных солей от 150 до 1000 мг на литр. Озера степной и полупустынной зоны — Великие Солёные озера, Эльтон, Павлодарские озера, Чаны, Иссык-Куль и др. содержат в литре от 1 до 300—400 г растворенных солей.

По второму признаку, т. е. по характеру солёности, различают три основных типа озёр: солёные, содовые и борные. Каждый из этих типов

в свою очередь может отличаться сульфатностью, магниальностью, известковостью и т. д., в зависимости от преобладания в растворе эквивалента того или иного иона.

К типу соленых озер принадлежат все озера (соленые и пресные по концентрации), в воде которых преобладающую роль среди анионов играют сильные кислоты Cl и SO_4 и где эквивалент последних больше эквивалента катионов щелочей. Тип содового водоема характеризуется доминированием анионов HCO_3 и CO_3 и превышением эквивалента ионов щелочей над суммой эквивалентов Cl и SO_4 . Озера с водой, содержащей значительное количество борной кислоты, относятся к типу борных.

Превалирующая роль в формировании типа соленого, содового или борного озера принадлежит химическому составу горных пород, слагающих сухой бассейн озера. Осадочными породами обуславливаются большей частью озера соленого типа, изверженными (основными)—содового, и богатыми бором — борного типа.

Преобладание в озерных водах кальция, магния или натрия тесно связано с концентрацией солей в этой воде: в первой стадии выщелачивания горных пород в раствор переходит в наибольшем количестве кальций в виде углекислой и двууглекислой соли, но вскоре достигается предел растворимости этих солей, т. к. выщелачивающая вода расходует всю агрессивную углекислоту и раствор продолжает обогащаться более растворимыми магнием и натрием, а в третьей и последней стадии в растворе будет накапливаться только натрий. Подобное произойдет и со слабо минерализованной речной водой после поступления ее в озеро, где она в процессе сильного упаривания, приобретая все большую концентрацию солей и теряя огромное количество углекислоты в атмосферу, выделяет в осадок в первую очередь углекислую известь, не могущую быть полностью растворенной в упаренном остатке воды, а дальше наступает очередь и углемagnesии. Соответственно с этим мы часто наблюдаем, что озера и вообще естественные воды с ничтожной минерализацией отличаются известковостью, озера с повышенной минерализацией — магниальностью, а соленые озера — богатством солей натрия. Замена известковости воды магниальностью и натровостью в содовых и борных водах наступает раньше, т. е. при более слабой концентрации, чем в пресных водах.

Мы не касались здесь вопроса о распределении растворенных элементов в массе воды, а между тем без изучения водоема в этом направлении нельзя классифицировать его по первым двум признакам. Дело в том, что озера очень часто вмещают воду различного химического состава: придонные слои могут быть солены, а поверхностные пресны, одна половина водоема может оказаться солоноватой, а другая — пресной (напр., оз. Балхаш), одни районы озера могут сильно различаться от других и т. д. Временами, а иногда и постоянно, одно побережье озера, имеющее сток, скажем, с осадочных пород, может отличаться характером солености от остальных районов, питающихся стоком, напр., с изверженных пород или подземными ключами. Очевидно, что первым

словием для гидрохимической классификации озера по концентрации и характеру солености его воды является установление распределения химических факторов в водоеме. И зная распределение солей пространственно и во времени на протяжении одного и многих лет, мы уже можем вывести некоторый средний состав воды всего озера или отдельных его зон, по которому легко определить место данного водоема в общей классификации озер.

Вот те моменты классификации озер по гидрохимическим данным, на которых мы считали необходимым остановиться.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ОЗЕРЕ СЕВАН

Перед нами анализы 16 образцов воды, взятых 11 и 12 августа 1928 г. в различных по глубине точках на 7 станциях по длине всего озера, от устья речки Балык-чай до сел. Загалу (см. карту, станции №№ 12, 13, 22—25). Все эти анализы чрезвычайно схожи между собой; крайние отклонения различных элементов в различных слоях глубины видны из следующей таблички:

Таблица 1

Миллиграммов в литре воды						
	На поверхности		На глубине 25 м		У дна (41-85 м)	
	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум	Максим.
K	19.8	21.7	21.3	21.7	21.3	21.7
Na	77.0	77.9	77.1	77.4	77.2	77.9
Ca	32.9	34.0	33.2	33.7	33.9	34.9
Mg	54.4	55.9	55.3	56.1	55.4	56.3
Cl	61.2	62.4	61.5	62.5	61.6	63.3
SO ₄	14.8	15.4	14.9	15.4	14.8	15.0
HCO ₃	386.7	430.8	402.6	414.5	411.2	453.1
CO ₃	28.2	49.2	36.0	42.0	19.2	39.6
HPO ₄	0.95	1.01	0.97	0.99	1.01	1.08
Сухой остаток .	543.2	552.8	550.8	552.8	554.0	562.8
Щ.Р. в см ³ HCl 0.1 N .	79.5	80.0	79.7	80.0	80.2	80.7

Приведенные данные показывают малое различие в солевом составе воды, как в горизонтальном, так и вертикальном направлении: крайние величины содержания ионов за исключением HCO₃, CO₃ и HPO₄ соответственно настолько мало разнятся, что констатируемые отклонения очень часто целиком укладываются в допустимые пределы неточностей аналитического определения. Из этих данных, поскольку ими характеризуется вся вертикальная толща воды озера от северо-западного

до юго-восточного берега, вытекает, что основная масса воды озера Севан на 11—12 августа 1928 г. имела однородный состав растворенных солей.

Результаты дополнительных кратких химических анализов образцов воды, взятых в разное время из разных частей водоема при поисках аномалии солености и изменчивости, соотношений между отдельными химическими факторами, констатируют ту же картину однородности и одинаковости ее химического состава, что видно из табл. 2, составленной по материалам 181 образца воды, взятых в период 1929—30 гг. из разных зон озера, за исключением мелководных защищенных от прибоа бухт и участков около устьев притоков.

Таблица 2

	Миллиграммов в литре воды					
	На поверхности		На глубине 20-30 м		В придонном слое	
	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум	Максим.
Cl	61.2	63.2	61.2	63.1	61.6	64.1
HCO ₃	378.2	448.1	386.3	426.9	394.7	450.0
CO ₃	17.3	54.8	26.6	49.1	18.0	38.7
HPO ₄	0.85	1.03	0.91	1.03	0.93	1.03
Щ.Р. в см ³ HCl 0.1 N	78.2	80.7	78.1	80.5	78.3	81.4

Приведенные данные должны показывать максимальные отклонения, потому что пробы воды умышленно брались и в тех местах, где по геологическим признакам можно было допускать наличие подводного родникового питания. Кроме того, они брались чаще всего в летний и осенний период, при максимальном развитии органической жизни.

Из всех химических факторов наиболее устойчивыми на протяжении почти 3-летнего периода оказались Cl и щелочный резерв, ионы же HCO₃, CO₃, и HPO₄ подвержены более значительному колебанию. Причины их меньшей устойчивости двояки: во-первых, они наиболее реагируют на физико-химические и биологические процессы в водоеме и, во-вторых, колебания их в некоторой степени мнимого порядка, т. к. по чисто методологическим несовершенствам их количественные определения страдают значительной неточностью. ¹⁾ Особенно трудно и несовершенно поддаются отделению ионы HCO₃ и CO₃. И в результате эти ионы обнаруживают максимальное колебание в воде озера, в то время как суммарное количество CO₂, определенное газометрически в специально для этой цели взятых пробах, колеблется в пределах всего навсего от 320 до 345 мг в литре.

¹⁾ Определение CO₂ производилось титрованием 0,025 N кислотой, HPO₄—колориметрическим способом по Denigès.

Для суждения об устойчивости или изменчивости растворенного состава воды озера в целом, наилучшими критериями из всех факторов ее химического состава нужно признать Cl и щелочной резерв— Щ.Р. Ими, как мы это увидим ниже (табл. 4), связывается 47% всех катионов в воде озера и таким образом контролируется 94% всех растворенных солей. Сверх того, методика определения Cl и Щ.Р. дает очень точные результаты и отличается быстротой и простотой выполнения. Числа Cl и Щ.Р. полных анализов воды (табл. 1) почти совпадают с результатами кратких анализов воды (табл. 2). Оба указанные обстоятельства дают основание считать, что если мы, например, взяли образец севанской воды и в результате краткого анализа ее нашли в ней почти неизменное количество Cl —82 мг и Щ.Р. около 80 см³ HCl 0.1N на литр, то в ней будет содержаться почти неизменное количество K —21 мг, Na —77 мг, Mg —56 мг, Ca —33 мг, и др.

Колебание содержания хлора и щелочного резерва во времени для всех частей озера, за исключением защищенных от прибоя мелководных бухт и участков непосредственно около устьев притоков озера, может быть охарактеризовано таблицей 3, составленной по материалам всех имеющихся по озеру Севан химических анализов воды.

Таблица 3.

		1928 г.			1929 г.		1930 г.
		VII—IX	X—XII	I—III	VII—IX	X—XII	VII—IX
Cl мг	Минимум .	61.2	61.2	62.4	61.6	—	61.8
	Максимум .	63.3	63.0	62.7	63.2	—	64.3
Щ.Р. см ³ HCl 0.1 N	Минимум .	79.5	79.9	80.5	77.5	—	78.6
	Максимум .	80.7	80.9	80.6	81.4	—	80.6

Приведенные данные, представляя собой абсолютные максимумы и минимумы содержания Cl и Щ.Р. в массе воды озера, без различия глубин, говорят о почти полном постоянстве солевого состава воды на протяжении 1928—30 гг.

Разобранные нами три момента, а именно: 1) химический состав воды Севана на 11—12 августа 1928 г., 2) состояние химизма воды озера на протяжении 1928—30 гг. и 3) колебание количества Cl и Щ.Р. на протяжении всего периода наших исследований позволяют констатировать:

1. Равномерность распределения растворенных солей во всей массе воды озера Севан.
2. Относительное постоянство состава растворенных солей на протяжении с 1928—1930 гг.

Отсюда вытекает, что средний арифметический из 17 полных химических анализов воды озера Севан ¹⁾, относящихся к августу 1928 г.

¹⁾ Опубликованы в „Бюллетене Бюро Гидрометеорологических исследований на оз. Севан“ № 7-8, 1929 г.

(табл. 4) может считаться средним трехлетним и данные его являются показателем концентрации и характера солености воды за эти годы.

Таблица 4.

Средний химический состав воды озера Севан

	мг	ионы	мг	мг-ионы	мг-эквивал.	мг-эквивал. % %
Катионы						
K ₂ O	25.8	K	21.4	0.55	0.55	2.7
Na ₂ O	104.2	Na	77.3	3.36	3.36	16.5
CaO	47.2	Ca	33.9	0.85	1.69	8.3
MgO	92.0	Mg	55.9	2.30	4.60	22.6
Fe ₂ O ₃	0.1	Fe 1)	0.07	0.00	0.00	0.0
Al ₂ O ₃	0.2	Al 1)	0.1	0.00	0.01	0.1
Σ r'	—	—	188.7	—	10.21	50.2
Анионы						
Cl	62.3	С	62.3	1.76	1.76	8.7
SO ₃	12.4	SO ₄	16.9	0.17	0.35	1.7
P ₂ O ₅	0.73	HPO ₄	0.99	0.01	0.02	0.1
CO ₂ гидр.	299.2	HCO ₃	414.7	6.80	6.80	33.4
CO ₂ карб.	26.4	CO ₃	36.0	0.60	1.20	5.9
Σ r'	—	—	530.9	—	10.13	49.8
Σ (r' + r')	—	—	719.6	—	20.34	100.0
Сухой остаток при 110° 551.8						
Миллиграмм-эквив. % %						
SiO ₂ 3.2	Сильных кислот 10.4		I кислотность 20.8			
H ₂ S 0	Слабых " 39.4		II " 0			
N 0	Поправка + 0.2		III " 0			
Окисляемость в O ₂ 2.1			50.0			
Щ.р. см ³ HCl 0,1 N 80.0	Щелочей 19.2		I щелочность 17.7			
Жесткость в немецк. град. 17.7	Щелочн. земель 30.9		II " 61.4			
pH 9.25	Слаб. основ. 0.1		III " 0.1			
	Поправка — 0.2				100.0	
			50.0			

Попытаемся теперь установить химизм озера за многолетний период, в чем нам помогут анализы воды О. К. Стаховского, произведенные им в 1893 и 1894 гг. Из этих анализов 3 образцов поверхностного слоя воды, показавших в общем сходные результаты, мы приведем наиболее подробный.

K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Cl	SO ₃	SiO ₂	Сух. остаток
28.4	108.3	50.2	97.5	66.1	13.2	0.6	555.0

¹⁾ Присутствуют в виде коллоидов, но при обработке сухого остатка соляной кислотой переходят в раствор.

Сличая эти данные с таблицей 4 мы видим, что общая концентрация солей (555.0 и 551.8 мг) и соотношения растворенных компонентов воды озера Севан за 35-летний период почти не изменились. Данные анализа О. К. Стаховского по отдельным солевым компонентам обнаруживают в среднем для 1893—94 гг. повышенную соленость воды озера примерно на 4—6%, против современной. В действительности же количество солей было тогда больше лишь на 2—3%, так как объем воды в озере, судя по уровню, был меньше современного. Причины же расхождения аналитических данных на 2—4% двояки: 1) чисто методические, например, Cl титровался им обычным моровским способом без упаривания образцов воды, без поправки Винклера и др., или без прочих технических усовершенствований, что привело к преувеличению хлорного числа на 2—3 мг в литре, и 2) в силу того, что образцы воды были взяты в промежутке времени от августа до ноября месяца из поверхностного слоя воды, когда благодаря сильному испарению здесь наблюдается слегка повышенная концентрация солей.

Подытоживая сказанное, мы очевидно сможем теперь утверждать, что вышеприведенный средний состав воды Севана за 1928—30 гг. является также близким к многолетнему среднему и отображает ее химический состав в пределах $\pm 2-3\%$ отклонений для отдельных элементов.

КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ

Вопрос о кислородном режиме озера Севан задет здесь лишь потому, что он совсем еще не освещен в литературе. Подробное освещение этого весьма актуального биологического и лимнологического фактора нуждается в специальных стационарных исследованиях и детальной разработке уже накопленных материалов.

Растворенному в водоемах кислороду присуще совсем иное распределение, чем солям.

Перед нами 372 определения кислорода в образцах воды из различных точек озера Севан за 1926—29 гг. К сожалению, изучение кислородного режима производилось разными лицами неравномерно во времени. Не охвачен наблюдениями полностью ни один гидрологический год. Мало того, за четыре года наблюдений не произведено ни одного определения кислорода в воде озера в месяцах марте, сентябре и октябре. Но все же имеющиеся данные позволяют дать общую характеристику кислородного режима озера.

Материалами кислородных определений характеризуется всего 43 пункта на озере (см. карту, станции 1—43). Из них 20 станций относятся к Большому озеру, 19—к Малому и 4—к мелководным бухтам, защищенным от прибоя. Большинство из этих станций были постоянными: кислород определялся здесь в разные месяцы и годы. Пробы обычно брались на глубине 0,5, 10, 15, 25, 40 м и у дна. Полученные, данные для открытых частей озера могут быть сведены в одну таблицу

которая дает картину распределения кислорода по глубинам при разных температурах воды и в разные месяцы года. (Табл. 5).

Таблица 5

Месяцы	Глубина слоя в м.	t° воды	Содержание растворенного кислорода		
			мг в литре воды	% % содержания:	
				без учета дав- ления слоя воды	с учетом давле- ния слоя воды
I	0	0.0	9.4	80.6	80.6
	10—15	2.1	10.4	95.7	40.8
	20—40	2.7	10.2	94.3	20.3
	дно	3.3	9.6	90.5	9.6
IV	0	3.2	10.7	100.9	100.9
	10—15	3.2	10.7	100.8	44.1
	20—40	3.1	10.6	98.1	22.1
	дно	2.8	10.4	97.0	9.9
V	0	5.7	11.7	117.4	117.4
	10—15	4.8	11.8	114.9	46.2
	20—40	4.1	11.7	112.9	28.4
	дно	3.8	11.4	109.4	10.8
VI	0	13.0	10.3	122.6	122.6
	10—15	12.8	9.7	115.1	49.5
	20—40	8.2	8.9	110.8	27.0
	дно	4.1	10.0	95.1	8.9
VII	0	16.4	7.8	99.4	99.4
	10—15	14.7	8.4	104.4	43.4
	20—40	9.5	9.1	100.2	23.4
	дно	4.9	7.7	75.5	10.0
VIII	0	18.8	6.7	91.0	91.0
	10—15	17.5	6.7	85.9	35.3
	20—40	9.4	8.1	88.8	19.9
	дно	4.2	5.9	64.2	6.1
XI	0	10.3	6.8	72.8	72.8
	10—15	10.3	6.1	68.2	27.0
	20—40	9.9	5.7	63.6	15.6
	дно	5.8	5.6	55.6	9.0
XII	0	5.9	9.0	90.7	90.7
	10—15	5.9	8.8	88.5	34.2
	20—40	6.0	8.9	89.8	19.5
	дно	5.3	7.9	79.1	8.5

В этой таблице представлены средние из температур воды и содержания кислорода, выведенные из всех имеющихся определений их на протяжении от 1926 до 1929 г. включительно.

Обратим прежде всего внимание на состояние кислородности воды озера в отдельные месяцы.

В январе месяце температура и плотность воды возрастают, правда, незначительно, но вполне закономерно, от поверхности до дна. Абсолютное содержание кислорода и относительная насыщенность им воды обнаруживают картину обратную температуре и плотности: количество кислорода с глубиной незначительно убывает; исключение представляет поверхностный слой воды с температурой около 0°. В целом, как абсолютное содержание растворенного кислорода (около 10 мг в литре), так и относительное (90% насыщенности), в январе месяце велико.

В апреле температура воды всех слоев озера почти одинакова: 2.8° — 3.2° . Происходит процесс нагревания поверхностных слоев воды и их уплотнения и возникают конвекционные токи, производящие весеннее перемешивание воды. Соответственно с этим содержание кислорода распределено весьма равномерно по всей массе воды озера. Количественное содержание кислорода в воде в апреле выше, чем в январе.

В мае месяце температура воды слабо возрастает от дна к поверхности. Вся масса воды достигла температуры максимальной плотности воды и поверхностные слои ее, прогреваясь дальше, делаются уже все менее плотными. Закончился процесс весеннего перемешивания воды конвекционными токами. Вода еще более обогащена кислородом, чем в апреле, кислород распределен равномерно во всем водоеме, т. к. не успел еще дифференцироваться после весеннего перемешивания.

Июнь месяц характеризуется уже более интенсивным возрастанием температуры от дна к поверхности. Поверхностные слои воды менее плотны, чем глубинные, почему исключается глубокое перемешивание воды конвекционными токами. Абсолютное содержание в воде растворенного кислорода во всех слоях ниже, чем в мае, а нормальное, в % насыщения, для поверхностных, более нагретых слоев воды, выше майского. Последнее вызывается явлением гистерезиса, т. е. тем, что вода, нагреваясь становится насыщенной и даже пересыщенной, без увеличения абсолютного содержания кислорода.

В июле и августе происходит дальнейший рост температуры воды и вместе с тем падает уже не только абсолютное, но и относительное содержание в ней кислорода. Явление гистерезиса, по мере замедления темпа прогрева воды, все меньше содействует показанию ее мнимой насыщенности кислородом.

В ноябре озеро уже значительно охладилось, но наступившее в связи с этим более интенсивное перемешивание воды не привело еще к обогащению ее кислородом сравнительно с тем, что мы имеем в августе. Очевидно годовой кислородный минимум бывает в сентябре, в октябре уже начинается стабилизация, которая в ноябре перерастает в подъем.

В декабре наблюдается уже резкое падение температуры воды. Конвекционные токи проявляют гораздо большую интенсивность и проникают уже почти до дна. В результате вся масса воды озера значительно обогащена равномерно распределенным в ней кислородом.

Таким образом максимум содержания в воде озера кислорода приходится на весну после момента гомотермии при 4° С. С этого момента, когда от дальнейшего прогрева воды падает плотность поверхностных слоев и прекращается вертикальное перемешивание воды конвекционными токами (кроме суточных), происходит непрерывное уменьшение содержания кислорода вплоть до сентябрьского минимума.

Соответственно с сентябрьско-октябрьским переломом в термическом режиме озера приостанавливается дальнейшее уменьшение растворенного в воде кислорода и наступает уже процесс обогащения им

озера. В декабре озеро уже значительно охлаждается, функционируют интенсивнее вертикальные токи и в результате вода обогащается кислородом. В январе, в момент, когда вся масса воды достигает зимней гомотермии при 4°C , мы имеем зимний максимум кислорода. В дальнейшем в феврале и марте охлаждение поверхностных слоев уменьшает их плотность, почему отсутствуют нисходяще-восходящие токи и прекращается поступление в водоем кислорода. Очевидно, что в это время происходит зимнее падение содержания кислорода с зимним минимумом в марте месяце.

Таким образом на основании изучения кислородного режима озера делаем следующие выводы:

1. Озеро Севан принадлежит к водоемам с повышенным содержанием растворенного кислорода при относительно небольшом его колебании в году; средний месячный минимум не спускается ниже 5.6 мг в литре воды, или 55.6% нормальной насыщенности, и где максимум его не подымается выше 11.8 мг в литре, или 122.6% нормальной насыщенности.

2. Процесс окислораживания воды озера обусловлен в значительной мере конвекционными токами, которые в климатических условиях Севана носят интенсивный характер.

3. Процессы биологического потребления кислорода в воде озера превалируют над процессами биогенного фотосинтетического обогащения им озера. Это доказывается тем, что как только прекращаются весной конвекционные токи, наступает не обогащение воды озера в результате фотосинтеза, а, наоборот, убыль его вплоть до осени. То же, очевидно, в меньшем масштабе происходит и после зимней гомотермии.

ОБЩАЯ СОЛЕНОСТЬ ВОДЫ

Концентрация растворенных в воде озера Севан солей, согласно вышеприведенного среднего анализа воды (табл. 4), определяется 551.8 мг. сухого остатка на литр воды. В отдельных случаях (табл. 1) было найдено содержание растворенных солей в пределах колебаний от 543.2 до 562.8 мг на литр воды. Для защищенных от прибоя бухт, в частности в тех районах, где глубина еще настолько значительна, что отсутствуют тростниковые заросли, сухой остаток растворенных солей в летнее и зимнее (подо льдом) полугодия колеблется в пределах 560—600 мг на литр воды. В мелководных районах тростниковых зарослей амплитуды колебания солёности еще более значительны. Так, например, 12 января 1929 г. в Еленовской бухте, в тростниках, под почти полуметровым ледяным покровом, в литре воды было обнаружено 740.4 мг. растворенных солей. Весной, с притоком талых вод в этом же месте, судя по данным кратких анализов, солёность падает ниже 500 мг плотного остатка в литре воды. Некоторое колебание солёности в сторону уменьшения обнаруживают и участки, непосредственно примыкающие к устьям рек. Против устьев наиболее значительных рек, каковыми являются Кявар-чай, Адиаман-чай и проток оз. Гилли,

на расстоянии 100—200 метров от берега обнаруживается в поверхностном слое уменьшение солености на 5—10% (плотный остаток 490—520 мг), а в придонном нормальная соленость.

Мелководные, защищенные от прибоя бухты и районы, обнаруживающие заметное влияние речной воды, заключают по нашим подсчетам примерно 0,1% всего объема воды озера Севан. Соленость воды этих бухт и районов колеблется в пределах 400—760 мг солей в литре воды. Средняя их соленость очевидно также очень близка к средней для всей массы воды открытого озера.

Обладая концентрацией солей в 0,5 г на литр воды, Севан принадлежит к типу пресных озер. По степени солености он относится к озерам лесостепной климатической зоны: в нем концентрация солей выше, чем в озерах Фенно-Скандии, северного и среднего Урала, Сибирской тайги, лесной области Альп и т. д. и ниже, чем в озерах засушливых степей.

Это вполне гармонирует с почвенно-ботаническим покровом Севанского бассейна. Здесь мы наблюдаем в нижнем ярусе засушливые степи с невыщелоченными почвами, в среднем ярусе разнотравные степи, переходящие в субальпийские луга с выщелоченными черноземными почвами, и в верхнем ярусе альпийские луга с горнолуговыми почвами: средний тип почвенно-ботанического покрова здесь очевидно несколько влажнее, чем степной

ХАРАКТЕР СОЛЕННОСТИ ВОДЫ

Соотношения между растворенными в воде озера Севан солями или их ионами иллюстрирует средний анализ этой воды (табл. 4). Здесь прежде всего следует обратить внимание, что преобладающими анионами являются радикалы угольной кислоты HCO_3 и CO_3 . 39,3% всех анионов или 78,7% всех солей приходится на долю углекислых. Далее замечаем, что эквивалент щелочных металлов (19,2%) почти в два раза превышает эквивалент сильных кислот (10,4%). Налицо достаточно резко выраженные показатели, чтобы причислить озеро Севан к типу содовых водоемов: преобладают анионы HCO_3 и CO_3 и эквивалент щелочей больше эквивалента $\text{Cl} + \text{SO}_4$.

Может показаться странным, что мы пресный водоем, да еще такой, где магниевые соли (45,2%) преобладают над натровыми (33,1%), относим к типу содовых. Казалось бы правильнее отнести его к типу углекислых или магниевых. И действительно, последнее было бы правильнее, если бы существовали или могли существовать в природе цельные типы магниевых или углекислых озер. Но этого нет. Дело в том, что, например, доминирование магния при некоторой средней концентрации солей, что наблюдается на примере озера Севан, тотчас же заменяется доминированием извести, коль скоро водоем характеризуется небольшой концентрацией солей. Обратно, при многократном увеличении концентрации солености озер, вслед за углекальциевой солью наступает скоро предел растворимости углемagneйской соли, после чего

в дальнейшем в растворе накапливается и получает абсолютное превалирование сода, если озеро содового типа, повареная или глауберова соль при соленом типе озера и бура, когда вода озера включает значительное количество борной кислоты.

Принадлежность озера Севан к типу содового водоема коренится в петрографическом и химическом составе горных пород в его бассейне. Последний сложен преимущественно породами основного типа: базальтами, базальтовыми туфами и шлаками, андезито-базальтами и пр. Атмосферные осадки, выщелачивая их, образуют питающую Севан речную и родниковую воду, богатую щелочно-земельными и щелочными основаниями и бедную ионами сильных кислот.

Кроме содовости, определяемой геологическими условиями севанской котловины, воды озера характеризуются еще рядом других особенностей ее химизма. Таковы магнизиальность, повышенная щелочность — рН 9,25 при эквиваленте CO_3 , достигающем 5.9% суммы эквивалентов всех ионов, повышенное содержание фосфатов и др.

Эквивалент магния составляет 22.6% суммы эквивалентов всех ионов; замещая такое же количество анионов он образует 45.2% всех растворенных солей. Из остальных солей на натровые приходится 33.0, на кальциевые — 16.5 и на калиевые — 5.3%. Обычно горные породы, подвергаясь в естественных условиях выщелачиванию атмосферными осадками, отдадут в раствор легче всего и в наибольшем количестве кальций и затем уже другие основания. Речной и родниковый сток воды в озеро, как мы это увидим ниже, не представляет в этом отношении исключения. Здесь содержится в среднем 48% кальциевых, 28% магниевых и 20% натровых солей. На первый взгляд кажется странным, куда девается преобладание кальция и чем объясняется наблюдаемое повышенное накопление магниевых солей в воде Севана. Это, очевидно, не есть прямой итог выщелачивания горных пород. Причина этого явления коренится уже несомненно в физико-химических процессах, происходящих в озере. Последние регулируются соотношениями между осадками и испарением с поверхности озера. В самом деле, когда поступающий в озеро речной сток подвергается здесь в той или иной мере упариванию, то это имеет своим следствием концентрирование солей. Концентрация озерной воды будет тем выше, чем больше испарение и чем меньше упаренный остаток. Естественно ожидать, что этот процесс сопровождается и изменениями в химическом составе воды. Вода притока и упаренный остаток, т. е. озерная вода, должны отличаться не только концентрацией солености, но и характером ее. Последнее вытекает из того, что не все количество труднорастворимых в воде компонентов (углесоли кальция, кремнекислота и др.) может быть сохранено в упаренном остатке. Отсюда ключ к объяснению магнизиальности озера Севан: значительная часть иона кальция выпала в осадок в виде труднорастворимой углесоли, образовав донные отложения, весьма богатые автоморфной углеизвестью, а доминирующее положение перешло к более устойчивым ионам магния и натрия.

Наряду с магнизиальностью, одной из наиболее рельефных особенностей севанской воды является присущая ей постоянная высокая концентрация иона CO_3 — 36.0 мг в литре или 11.8% образуемых им всех растворенных солей. Иону CO_3 неотделимо сопутствует и повышенная активная щелочность воды озера (рН—9.25). В чем причина этого явления?

Здесь очень важен тип солености озера. Озера с водой соленого типа, где преобладают анионы сильных кислот Cl и SO_4 , где эквивалент последних больше эквивалента щелочей, уже по закону электролитической диссоциации растворов не могут иметь в растворе большого преобладания иона OH над ионом H , не могут отличаться повышенной карбонатностью и соответственно повышенным значением рН (не исключена возможность повышенной гидрокарбонатности). Озера содового и борного типа, где сильный катион натрия далеко неполностью замещается сильными анионами Cl и SO_4 , очевидно, должны быть высококарбонатными и щелочными. Отсюда мы видим, что карбонатность с высокой щелочностью озера Севан, принадлежащего к содовым водоемам, заложены в типологии озера и связана с химико-петрографическим составом горных пород севанской котловины.

Однако одного типа озера еще недостаточно, чтобы оно отличалось повышенной карбонатностью и щелочностью. Требуется еще наличие достаточной концентрации солености и каких-то весьма веских физико-химических и биогенных факторов, не только нейтрализующих или противодействующих стремлению свободной углекислоты атмосферы насытить дефицитность ее в воде озера путем перевода иона CO_3 в ион HCO_3 , но и вызывающих эту дефицитность. Концентрация солености озера Севан, как мы это уже выше отметили, обусловлена преимущественно климатическими причинами. Что же касается физико-химических и биологических процессов, непосредственно обуславливающих высокую карбонатность воды, то их интенсивность и направление целиком зависят от условий температур, солнечной инсоляции и других климатических элементов. Всякое повышение температуры раствора, в данном случае воды озера, ускоряет распад гидрокарбонатных соединений на карбонатные и свободную углекислоту: $\text{R}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{RCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$; кроме того, оно усиливает испарение воды, оказывая тем содействие удалению свободной углекислоты вместе с парами воды в атмосферу. В результате повышается концентрация CO_3 и щелочность. И точно также тепло плюс солнечная энергия представляют собой те факторы, которые обуславливают ассимиляцию углекислоты растительными организмами, т. е. представляют собой факторы, содействующие повышению карбонатности воды биологическим путем. Первому из этих процессов, имеющему своим итогом уход углекислоты в атмосферу, принадлежит главная роль в формировании карбонатности воды озера, а второму, фиксирующему углекислоту в виде органической материи в водоеме, нужно отнести лишь ничтожное и чисто местное и временное значение. Последнее доказывается целым рядом факторов, из которых укажем три:

1. Ни в воде озера Севан, ни в донных отложениях озера не накапливается углекислота, превращенная в органическую материю, т. к. средняя окисляемость воды озера ничтожна (2 мг O_2 на литр); гуммузированность донных отложений озера не больше, чем во взвешенном речном и эоловом материале, из которого эти отложения формируются.

2. Кислородный режим озера показал нам, что в вегетативный период содержание кислорода в озере падает; это говорит о том, что взаимно противоположные результаты жизнедеятельности растительных и животных организмов складываются здесь в пользу зоо-обитателей. Это означает, что минерализация органической материи имеет в озере перевес над созиданием этой материи. Следовательно, кислородный режим озера показывает нам, что биологические агенты в балансе своей жизнедеятельности не только не содействуют повышению, но, наоборот, снижают карбонатность воды озера.

3. Распределение в массе воды озера химических факторов обнаружило, что максимальная карбонатность приходится на поверхностный слой. При отсутствии ухода отсюда углекислоты в атмосферу неизбежно констатировалось бы обратное: свободная углекислота атмосферы пополнила бы собой верхние слои воды.

В отношении остальных растворенных элементов в воде озера Севан представляют интерес причины повышенного содержания в ней фосфора и калия, ничтожная окисляемость и отсутствие азота. На них мы остановимся ниже.

ХИМИЗМ ПРИТОКОВ ОЗЕРА СЕВАН

Всего охвачено гидрохимическими исследованиями 19 притоков озера. Из них 18 изучены стационарно на протяжении одного и более года. По 16 притокам, дающим в сумме около 90% поверхностного стока воды в озеро, накоплено на протяжении 1928—29 годов столько гидрохимического материала, что оказалось возможным вывести их среднегодовые составы, из которых в свою очередь был выведен средний состав годового притока воды всех 16 речек (табл. 6).

Приведенные среднегодовые анализы и их средний вычислены с учетом удельного месячного стока воды каждой речки. Например, если данный приток расходовал воды в апреле 30%, в мае 40% и в июне 15% своего годового расхода, то для получения среднегодового анализа брались 0,3 среднего количества растворенных в апреле элементов, 0,4 майского количества, 0,15 июньского и т. д. Так были вычислены средние краткие анализы. Среднегодовые же полные анализы выводились перемножением данных соответствующих меженных анализов на переводные коэффициенты. Последние выводились из сравнения меженных анализов со среднегодовыми краткими. Соотношения между средним кратким анализом и меженным находилось для каждого притока по хлору и $Щ.Р.$ Полученная величина, показывающая во сколько раз меженная вода минерализованнее среднегодовой по краткому анализу, служила коэффициентом для приведения всех элементов меженного полного анализа к среднего-

довому. Результаты его, будучи перемножены на удельную величину стока каждой из рек, дали в сумме средний состав всего стока воды в озеро.

Просматривая средние анализы воды притоков озера Севан, обратим прежде всего внимание на величины плотного остатка растворенных солей. Они колеблются для разных притоков в пределах от 68.0 до 213.0 мг на литр воды. Их удельная средняя, определяющая соленость всего поверхностного годового стока воды в озеро, равна 137.0 мг на литр.

Эти цифры рисуют картину слабой минерализации воды притоков: она в среднем в 4 раза менее, нежели в озере и даже менее, чем в реках лесной и степной зон. Так, например, среднее течение р. Волги характеризуется содержанием 150—200 мг солей на литр, Дона у Новочеркасска — 150—300 мг, Дуная ниже Будапешта — 150—200 мг, Рейна у Кельна — около 150 мг, Миссисипи выше впадения Миссури — около 200 мг и т. д. (по Кларку, Пальмеру и др.) Соленость воды притоков озера Севан в то же время выше, чем рек северных областей; притоки Ладжского и Онежского озер в конечном итоге дают воду реки Невы с плотным остатком растворенных солей равным 50—70 мг на литр, приток озера Байкала — р. Ангара с плотным остатком растворенных солей в 60—100 мг на литр.

Из отдельных притоков озера Севан наименьшей соленостью отличаются реки с преобладающим паводковым питанием: Балык-чай, Бахтак-чай, Адиаман-чай и др., а наибольшей соленостью — реки и родники с преобладающим подземным питанием: Адиаманские, Гельские и Цаккарские родники, реки Джил, Кявар-чай и др.

По характеру солености большинство притоков озера Севан относится к содовому типу: доминирует анион HCO_3 и эквивалент щелочей больше эквивалента сильных кислот. Исключение составляют или близки к этому притоки, водосборный бассейн которых сложен преимущественно палеотипными породами, таковы реки Сатанахач, Памбак и Джил, где $r'(\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{NO}_3) > r'(\text{Na} + \text{K})$. Водоносность этих рек и близких к ним (Балык-чай) по сравнению с реками, водосборные бассейны которых сложены андезито-базальтовыми или другими основными породами, невелика и поэтому сток всех рек, будучи перемешан в озере, дает воду резко выраженного основного (содового) типа.

Из растворенных солей в воде всех притоков, за исключением Цаккарских родников, преобладают соли извести. Наибольшее содержание извести наблюдается в воде рек палеотипного рельефа при среднем отношении кальция и магния, как 4 : 1. В реках и родниках кайнотипного рельефа (Ахманганский и часть Южно-Гокчинского хребтов) кальций относится к магнию в среднем, как 2 : 1 или даже менее. Причина, по которой в реках первой категории извести больше, чем в реках второй категории, кроется в различии типа их вод: кислотный тип солености первых вод увеличивает растворимость углесолей кальция, а основной тип солености воды вторых снижает или, вернее, ограничивает растворимость углесолей извести.

Особое место среди притоков озера занимает по химизму р. Цаккар-чай. Здесь хотя тип воды тоже содовый, но характерно преобладание магния и натрия над кальцием. Геологические предпосылки (поверхностный водосборный бассейн сложен преимущественно андезито-базальтовыми лавами) не дают никакого основания полагать, чтобы здесь в выщелачиваемом материале нехватало кальция для обогащения воды этим основанием. Наоборот, кальция в этих породах много и больше, чем магния. В чем же тогда причина магниально-натронности этой воды? Ответ здесь может быть только один, а именно: вода на пути от начального момента инфильтрации атмосферных осадков или конденсационной влаги до выхода наружу в виде Цаккарских родников переживает стадию пленочного передвижения в грунте. Экспериментальные опыты иллюстрируют, что при пленочном передвижении растворов труднорастворимые соли и в первую очередь углекислый кальций аккумулируются, или иначе, поглощаются твердой средой.

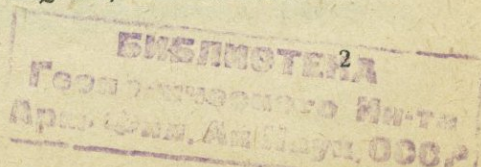
Повышенное содержание магния, хлора и натрия обнаруживают и другие родники и речки—Кявар-чай, Гельские и Адиаманские родники—дренирующие склоны Ахманганского хребта. Богатство этих вод легко-растворимыми элементами и одновременную бедность их углекислым кальцием можно также объяснить в большей или в меньшей мере пленочным передвижением этих вод в грунтах. Условия для пленочного передвижения воды в поверхностных вулканических покровах Ахманганского хребта нужно признать весьма благоприятными.

Сравнивая состав воды р. Цаккар-чай и Адиаманских родников, легко видеть, что в воде последних больше легко-растворимых солей, чем в первой, и в то же время в ней больше и удельное участие кальция.

Если мы причину магниально-натронности воды р. Цаккар-чай усмотрели в пленочном передвижении воды в грунте, то еще большее обогащение содовых вод Адиаманских родников легко-растворимыми солями должно было, естественно, произойти также вследствие пленочного передвижения этой воды в грунте, что, в свою очередь, должно было сопровождаться еще большим относительным поглощением кальция. Последнее наблюдается не в полной мере. Здесь причина кроется в громадном содержании свободной углекислоты в воде Адиаманских родников, что, конечно, не преминуло способствовать удержанию в растворе большего количества углекислого кальция.

К числу характерных черт воды притоков озера Севан следует отнести еще следующие особенности ее солевого состава:

1. Высокое содержание кремнекислоты; в среднем 22% сухого остатка растворенных солей,
2. Относительно высокое для слабо минерализованных вод содержание фосфатов, определяемое в среднем числом 0.23 мг НРО₄ на литр воды,
3. Малое содержание органических веществ, показываемое окисляемостью в 1.1 мг О₂ на литр воды.



Среднегодовой состав воды притоков озера Севан

Таблица 6

Название речек и родников	р. Балык-чай	р. Тохлуджа	р. Джила	р. Памбак	р. Сатанахах	Проток оз. Гяли	Родники Мельничный и Короткий	р. Гедак-булаг	р. Алучалу	р. Гезельдара	р. Адиаман-чай	Родники Адиаманские	Родники Гельские	р. Бахтак-чай	р. Цаккар-чай	р. Кявар-чай	Средн. состав воды притоков		
	Миллиграммов в литре воды																мг	мг-экв.	мг-экв. %
K	1.0	3.4	1.4	2.0	2.5	3.1	3.3	2.6	2.3	3.4	1.6	4.3	3.6	1.8	3.5	3.5	2.7	0.07	2.0
Na	4.3	9.7	6.7	5.9	5.1	8.2	8.2	6.3	3.2	3.5	5.0	20.0	10.5	3.6	15.2	12.9	7.9	0.34	9.7
Ca	13.0	32.4	44.3	39.8	35.3	30.9	11.7	13.2	13.8	9.7	11.1	20.5	17.6	6.9	11.0	15.4	17.0	0.85	24.0
Mg	2.4	6.4	8.7	9.0	9.2	8.8	3.4	3.4	2.1	2.2	3.9	10.2	8.7	3.0	11.6	9.1	6.3	0.52	14.7
NH ₄	0	0	0	0.09	0.18	0	0	0	0.05	0	0	0	0.13	0	0	0	0.01	—	—
Сумма катионов	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.78	50.4
Cl	2.4	3.5	2.9	2.3	1.8	2.6	2.0	3.1	2.2	1.5	2.5	18.5	8.06	2.4	17.6	9.9	4.9	0.14	3.9
SO ₄	3.0	5.5	8.2	10.8	13.3	6.2	6.2	4.2	4.4	4.7	2.4	4.3	3.05	1.9	3.8	7.3	4.8	0.10	2.8
NO ₃	1.1	8.6	12.6	7.1	1.6	0.4	1.2	1.3	1.4	2.8	0.5	2.0	0.8	0.6	1.6	2.1	1.3	0.02	0.6
NO ₂	—	сл. следы	0.04	0.02	0	0.02	сл. следы	сл. следы	0.2	сл. следы	0.13	сл. следы	—	сл. следы	—	0.01	0.04	0.00	0.0
HPO ₄	0.09	0.09	0.03	0.09	0.05	0.14	0.22	0.23	0.23	0.26	0.20	0.63	0.42	0.20	0.38	0.53	0.23	0.01	0.1
HCO ₃	53.2	137.0	168.6	155.1	141.5	136.5	47.0	56.9	56.5	32.4	62.4	122.7	103.9	40.3	99.6	97.0	85.7	1.41	39.8
SiO ₃	0	2.2	0	1.9	3.7	6.7	7.5	4.5	1.2	5.6	0	4.4	4.3	0	6.2	2.0	3.2	0.08	2.4
Сумма анионов	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.75	49.6
Всего	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.53	100.0
Сух. ост.—110°	68.0	154.5	190.3	172.9	155.4	177.3	114.7	125.8	109.5	106.7	103.7	213.0	182.0	76.5	168.2	158.3	137.0	—	—
CO ₂ своб. . . .	14.9	4.9	4.3	4.0	7.6	8.6	6.0	9.1	10.8	8.8	19.1	156.0	12.9	9.0	12.1	9.1	13.0	—	—
SiO ₂ „	7.0	10.1	14.3	10.9	7.5	17.8	28.0	29.0	33.2	35.9	31.4	45.6	10.6	20.5	40.6	34.4	26.7	—	—
Окисляемость в O ₂	0.5	0.8	0.6	0.8	0.9	2.5	0.5	0.7	1.3	1.1	0.9	0.6	1.1	0.5	0.5	0.7	1.1	—	—

Первая кислотность	16.6%
Вторая „	0.0
Первая щелочность	8.8
Вторая „	76.6
	100.0

Щелочной коэффициент Стеблера . . . 154

Первые две особенности резко присущи водам кайнотипного рельефа и тесно связаны со щелочностью и богатством фосфором андезитовых лав и вулканических шлаков. Третья особенность воды притоков, заключающаяся в ее малой окисляемости, вытекает, вероятно, из теплового режима, неблагоприятного для обильного развития фито- и зоообитателей или, вернее, от комплекса климатических условий. Окисляемость речек Ладожской и Онежской системы, притоков озера Ильменя, притоков озера Байкала и др. определяется расходом кислорода от 15 до 60 мг на литр воды.

БАЛАНС СОЛЕЙ ОЗЕРА СЕВАН

Приходная часть солевого баланса озера складывается из солей поступающих в озеро:

1. вместе с поверхностным и подземным стоком,
2. в выпадающих на зеркало озера атмосферных осадках,
3. в результате растворения водой озера береговых и донных отложений и материала речных и эоловых наносов.

Расходная часть солевого баланса озера складывается из потери солей озером:

1. в растворе воды поверхностного и подземного стока,
2. в результате выпадения из раствора труднорастворимых соединений в осадок,
3. путем ухода летучих соединений из раствора в атмосферу,
4. путем потребления организмами.

Первая приходная статья — поступление солей вместе со стоком воды — является главным источником, откуда черпает почти все соли озеро Севан. Атмосферные осадки на зеркало озера играют разве некоторую роль в обогащении озера углекислотой и окислами азота, других же солей атмосферные осадки почти не содержат или содержат так ничтожно мало, что их величиной можно пренебречь. Что же касается обогащения воды озера солями, вследствие растворения отложений и наносов, то это явление едва ли имеет какое-либо положительное значение. Дело в том, что озерная вода обладает скорее не агрессивным растворяющим действием на горные породы, а наоборот, она выделяет уже имеющиеся в растворе соли, покрывая ими горные породы в виде налетов. Эти налеты содержат CaO , CO_2 , SiO_2 , P_2O_5 , MgO и даже K и Na . Выщелоченные водой притоков, богатой агрессивной углекислотой, взвешенные наносы после поступления их в щелочную воду озера не только не обогащают последнего основаниями, но, наоборот, поглощают некоторую часть оснований из воды озера.

Таким образом из трех возможных источников прихода солей в озеро реальное значение имеет только один сток воды с сухого бассейна, который составляется из поверхностного стока и предполагаемого подземного питания озера.

Первое из этих слагаемых примерно на 80% учтено непосредственными гидрометрическими замерами и изучено гидрохимически. Второе же

слагаемое не обнаружено вовсе ни термическими, ни гидрохимическими обследованиями придонных слоев воды озера и, кроме того, имеется ряд других оснований считать, что озеро Севан не может обладать сколько-нибудь значительным подводным родниковым питанием. Из этих оснований отметим наличие мощных суглинистых отложений, покрывающих все дно озера.

Очевидно, что поскольку не обнаружено и нет предпосылок для возможности более или менее значительного питания озера донными ключами, тем более иной минерализации, то мы вправе признать вышеприведенный в таблице 6 средний анализ воды притоков озера отображающим средний растворенный состав всех стекающих в озеро вод. Пользуясь данными этого анализа и зная годовой приток воды в озеро, можем исчислить годовой приток каждой из солей в озеро.

Расходная часть солевого баланса озера, как мы уже отметили, складывается из четырех статей. Все эти статьи по существу составляют две основные категории потерь солей озером: это, во-первых, потеря солей с озерной водой, вытекающей из озера и, во-вторых, потеря солей в процессе преобразования воды притоков. Расход солей с вытекающей из озера водой может быть легко определен, если известно содержание солей в единице объема озерной воды и количество вытекающей воды.

Расход же солей в процессе преобразования воды притоков в воду озерную является явлением более сложным. Даже более того, без анализа самого существа процесса преобразования воды притоков в воду озерную трудно сразу говорить, происходит ли вообще при этом потеря солей из раствора. Приток солей с водой с сухого бассейна нам известен и точно также известна концентрация этих солей в озерной воде, а отсюда легко подсчитать, какое количество воды должно вытекать из озера для обеспечения существующего равновесия между приходом и расходом стойких индифферентных солей. Таким образом раскрытие процесса получения озерной воды существующего химического состава и выяснение расхода солей в процессе преобразования воды притоков в воду озерную позволяют, в конечном итоге, определить среднее количество оттока воды и солей из озера.

Перейдем к процессу получения озерной воды уже известного нам химического состава. Сравним средний состав воды озера и его притоков (табл. 7).

Числа, приводимые таблицей показывают, что концентрация воды в озере по большинству солей в несколько раз выше, чем в притоках. При этом обнаруживается определенная закономерность: наиболее легко-растворимые и стойкие при естественных условиях элементы аккумулируются водой озера в наибольшем количестве. Так, например, хлор, который при наблюдаемой в озерной воде концентрации не может осаждаться, не поглощается растениями, не образует комплексных нерастворимых цеолитных соединений и не улетучивается в атмосферу, обнаруживает в воде озера 12,7-кратную повышенную концентрацию в сравнении с водой, питающей озеро.

Следующим наименее подверженным всякого рода поглощениям элементом является натрий, и соответственно с этим натрия в воде озера в 9,8 раза больше, чем в воде притоков.

Таблица 7

Средний состав воды озера Севани и его притоков

	Озеро	Притоки	Отношение озеро : притоки
	В миллиграммах на литр		
K	21.4	2.7	7.9
Na	77.3	7.9	9.8
Ca	33.9	17.0	2.0
Mg	55.9	6.3	9.0
NH ₄	0	0.01	—
Cl	62.3	4.9	12.7
SO ₄	16.9	4.8	4.5
NO ₃	0	1.3	—
NO ₂	0	0.04	—
HPO ₄	0.99	0.23	4.3
HCO ₃	414.7	85.7	4.7
CO ₃	36.0	0	—
SiO ₃	следы	3.2	—
Сухой остаток при 1,0°	551.8	137.0	4.0
CO ₂ своб.	0	13.0*	—
SiO ₂	3.2	26.7	0.1
Окисляемость в O ₂	2.1	1.1	1.9
pH	9.2	7.17	—

*) Содержание свободной углекислоты, вероятно, преувеличено; получено здесь как среднее из сильно колеблющихся аналитических данных. Образцы воды для определения свободной углекислоты после определения активной реакции хотя и брались в специальную посуду, но срок до анализа иногда превышал 1-2 суток а хранение и пересылка совершались при температуре до 10° С.

В условиях, когда ион натрия не уравновешен ионами сильных кислот, что мы и наблюдаем в севанской воде, избыток иона натрия имеет тенденцию участвовать в образовании цеолитов или быть поглощенным тонким выщелоченным кремне-глиноземистым материалом. Далее идут несколько менее стойкие в растворе пресных вод катионы Mg и K, обнаруживающие уже соответственно 9,0 и 7,9-кратное возрастание их концентрации в воде озера против воды питающей озеро, т. к. они больше коагулируются минеральными и органическими коллоидами. Ион кальция, который в силу содового типа озера связан здесь с анионами угольной кислоты, образуя труднорастворимые в этой воде соединения, больше всех катионов подвержен осаждению, и как результат этого мы видим, что вода озера обогащена им всего в 2 раза против воды притоков.

Несколько странным на первый взгляд кажется слишком малое сравнительно с другими возрастание концентрации аниона серной кислоты, всего в 4,5 раза. Однако последнее становится понятным, если учесть, что этот весьма растворимый и стойкий в растворе анион усваивается жизнью и восстанавливается бактериями до H_2S и дальше в S и в таком нерастворимом состоянии может оказаться выведенным из раствора. Наконец, таблица 7 показывает нам, что такие совершенно нестойкие растворенные компоненты в пресных водах, как NO_3 , NO_2 , NH_4 , CO_2 своб. и SiO_2 , не только не обнаруживают повышения их концентрации в озерной воде, но, наоборот, они в значительной мере оказались осевшими из раствора, поглощенными организмами и ушедшими в атмосферу.

Изучение донных отложений озера выявило, что в них нет соединений, содержащих хлор; там содержится, несомненно, немного цеолитного (поглощенного) натрия, больше калия и магния, громадное количество как органогенной, так и осадочной автоморфной минеральной извести, очень много аморфного осадочного кремнезема, примерно 0,2–0,3% серы и т. д. В целом изучение донных отложений обнаружило, что за исключением S и повидимому N , все те растворенные в воде притоков соединения, которые в воде озера почти не подверглись концентрированию, оказались осажденными на дно.

Сравнив средние анализы воды озера и питающих его речек и родников, мы можем теперь утверждать, что вода озера, согласно содержания в ней хлора, могла образоваться из воды притоков после 12,7-кратного сокращения объема последней в результате упаривания ее в самом озере. Этому утверждению очевидно не противоречит и содержание других элементов в воде озера, если учесть данные изучения грунтов. В самом деле, например, по натрию казалось бы, что уже 9,8-кратное упаривание воды притоков может дать воду с озерной концентрацией этого элемента, однако часть натрия поглощается донными отложениями и следовательно, требуется более чем 9,8-кратное упаривание воды притоков, чтобы придать этой воде озерную концентрацию натрия. То же справедливо и по отношению к магнию и калию. При 12,7-кратном упаривании воды притоков концентрация магния повысилась всего в 9,0 раз а калия в 7,9 раза, а недостающую в растворе часть до 12,7-кратного содержания поглотили донные отложения. Кальций показывает лишь двухкратное повышение его в растворе воды озера, а все остальное количество его в виде $CaCO_3$ выпало в осадок. Так объясняется генезис мощных образований извести в грунтах озера Севан. Примерно то же следует сказать о всех остальных растворенных элементах: все недостающее количество их в растворе до 12,7-кратного содержания против воды притоков оказывается в донных отложениях (аморфный SiO_2 , $SO_3 \rightarrow S$, частично уголекислота, связанная с кальцием и т. д.) или частично уходит в атмосферу (CO_2). Учитывая, что приходным источником хлора в озере является только приток воды с сухого бассейна со средним содержанием 4,9 мг в литре и что хлор из воды озера никуда не теряется, мы на основании вышеприведенных данных, делаем тот вывод, что озерная

вода с ее химическим составом образуется из воды притоков после 12,7-кратного упаривания ее в озере. Значения атмосферных осадков на зеркало озера в образовании озерной воды мы здесь во внимание не принимаем, считая, что они нацело испаряются и не оставляют после себя таких количеств солей, которые могли бы иметь значение для солености озера.

Количество солей, выделяемое в процессе образования 1 литра озерной воды из 12,7 литров воды притоков, может быть представлено следующей таблицей.

Таблица 8

	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	NO ₃ NO ₂ NH ₄	HPO ₄	CO ₂	SiO ₂	Окис- ляемость в O ₂
В 12.7 л воды притоков .	34.3	99.7	215.9	80.0	62.3	61.0	17.1	2.92	950.0	370.8	14.0
В 1 л воды озера . .	21.4	77.3	33.9	55.9	62.3	16.9	0	0.99	326.9	3.2	2.1
Разность .	12.9	22.4	182.0	24.1	0	44.1	17.1	1.93	623.1	367.6	11.9
Разность в % % умень- шаемого .	37.6	22.5	84.3	30.1	0	72.3	100	66.0	65.6	99.1	85

Числа приводимой таблицы показывают, какой огромный процент соединений (около 70) теряет вода притоков в процессе упаривания и преобразования в озерную воду. На первый взгляд кажется странным, что пресная вода выделяет из раствора столь огромное количество растворенных, да притом подчас легкорастворимых соединений. Но это, так. Иначе, например, неоткуда брать в донных отложениях озера огромному количеству углекислой извести, неоткуда брать сере, фосфорнокислому кальцию, аморфному кремнезему, понижающему удельный вес минерального вещества ила до 2.0 и ниже, поглощенному калию, магнию и натрию, т. к. взвешенные наносы, из которых главным образом формируются донные отложения, их не содержат.

Грунты озера, аккумулируя все выпадающие из раствора соли, не обнаруживают осадения полностью углекислоты и, вероятно, азота. В них находим только ту часть углекислоты, которая эквивалентна кальцию, а возможно и менее, т. к. не исключен в малых размерах процесс вытеснения углекислоты силикатом. В грунтах мы находим CO₂ в виде осадений углекислой извести в количестве 200.2 мг из общей потери литром воды озера 623.1 мг. Следовательно, 422,9 мг CO₂ в донных отложениях не обнаруживается. Содержание гумуса в этих отложениях определяется 2—4 %, что не превышает содержания его во взвешенных речных и эловых наносах (2—5%). Об этом же твердит и кислородный режим озера: озеро потребляет кислорода больше, чем выделяет, а это означает перевес процессов минерализации органических веществ над

синтезом их и, следовательно, уже никак нельзя допускать возможности аккумуляции углекислоты в виде органической материи в водоеме. Эти рассуждения приводят к предположению, что озеро Севан, несмотря на высокую щелочность воды ($\text{pH} = 9.25$) отдает не менее 422.9 мг с литра или 44.5 % всей поступающей в воде притоков углекислоты в атмосферу.

Приток воды с сухого бассейна в озеро Севан в среднем за 1928 и 1929 гг. выразился в 25.5 м^3 в секунду или округло 800 млн. м^3 в год. Средний анализ этой воды за те же годы приведен выше. Произведения данных среднего анализа на годовой приток воды дают нам приходную часть солевого баланса озера (табл. 9). Полученные величины можно признать характеризующими не только 1928—29 гг.; они весьма близки к многолетним средним. Если приток воды за 1928—29 гг. превышал или был менее многолетней нормы, то в силу обратной зависимости между соленостью и стоком воды, соленость этой воды была ниже или выше многолетней средней и таким образом произведение солености на приток должно быть величиной относительно постоянной. Об относительной близости прихода солей в озеро Севан за 1928—29 гг. к многолетней норме можно утверждать еще и потому, что средний приток воды в озеро за эти годы может отличаться от многолетнего среднего не свыше, чем на $\pm 10\%$.

Если годовой приход и состав солей в озере можно признать величиной относительно постоянной и, во всяком случае, не происходит их накопления, то отсюда следует, что и расход солей должен быть величиной относительно постоянной; величина расхода солей, колеблясь из года в год, в среднем равна величине годового прихода. Она складывается, как мы уже отмечали, из расхода солей в процессе преобразования воды и оттока из озера. Первая часть может быть вычислена из общего притока в 800 млн. м^3 воды с помощью таблицы 8; вторая же выводится умножением данных среднего анализа воды озера на объем вытекающей из него воды. Гидрометрическими данными величина поверхностного и подземного стока воды из озера определяется в среднем за 4 года (1927—30) величиной 3.9 $\text{м}^3/\text{сек}$ или около 120 млн. м^3 за год. Принять эту величину для наших расчетов мы не можем, т. к. 3.9 м^3 воды озера, при содержании в ней 62.3 мг хлора в литре, уносит из озера столько хлора, сколько несет в озеро 49.5 м^3 воды притока при среднем содержании в ней 4.9 мг хлора в литре. Фактический приток воды в озеро с сухого бассейна определяется числом 25.5 $\text{м}^3/\text{сек}$. Принимая последнюю величину за истинную и помня при этом, что озеро кроме как из стока с сухого бассейна ниоткуда хлора не получает, заключаем, что при многолетнем оттоке в 3.9 $\text{м}^3/\text{сек}$ оно содержало бы только 32 мг хлора в литре воды и, вероятно, не было бы магниезиальным; MgO содержало бы около 47 мг , а CaO свыше 50 мг в литре. Считая, что приток воды в озеро поддавался изучению много точнее, чем отток, мы примем величину первого за правильную и, как следствие этого, примем величину уравнивающего его оттока равной около 2 $\text{м}^3/\text{сек}$.

Ограничивая возможность оттока воды из озера в многолетнем периоде $2 \text{ м}^3/\text{сек.}$, мы тем самым ставим под сомнение возможность питания Каравансарайских и Рандамальных родников подземным путем из озера. Связь озера с этими родниками, выходящими на берегу реки Занги в 18-20 км от истока, предполагается на основании ряда других исследований (см. работы Закавказской экспедиции Академии Наук и Севанского Гидрометеорологического Бюро 1928—29 гг.). Большой дебит этой группы родников, возможно, объясняется питанием их водами более глубоких горизонтов, дренирующими территорию значительно шире, чем тяготеющий к родникам топографический бассейн. Что же касается сходства химического состава воды этих родников с водой озера, то этот содовый тип воды присущ и озеру и всем родникам и речкам севанской котловины, текущим в изверженных породах и особенно в щелочных лавах. Оригинальность же воды озера и Рандамал-Каравансарайских и отчасти Макраванкских родников, заключающаяся в преобладании в растворе хлора, натрия и магния над кальцием, объясняется тем, что вода более глубоких горизонтов, образовываясь в результате медленного пленочного просачивания некоторой доли атмосферных осадков или конденсационной влаги по щелочным базальтовым породам вглубь, накопит в растворе именно более растворимые соли натрия, магния и хлора и не может иметь в растворе большого количества труднорастворимого в этой щелочной среде углекальция. Из этой группы родников наибольшим накоплением в воде хлора, натрия и магния и притом наибольшей температурой воды, несмотря на наибольшую высотную отметку, отличаются Рандамальные родники. Не говорит ли это о том, что эти родники питаются по отношению к остальным из более глубоких горизонтов воды и поэтому имеют наибольшую минерализацию и температуру? ¹⁾

Исходя из рассмотренных данных, а именно:

1. 800 млн м^3 годового притока воды в озеро,
2. среднего анализа воды притоков (табл. 6),
3. показаний табл. 8 о количестве теряемых из раствора солей в процессе преобразования воды притоков в воду озерную,
4. средней многолетней потери озером на отток 63 млн. м^3 воды в год и
5. среднего анализа воды озера, — можем представить солевой баланс озера Севан за год следующим образом (см. ниже табл. 9).

Годовой баланс солей, как мы уже выше отметили, отличается гораздо большим постоянством, чем баланс воды: повышенному притоку воды соответствует пониженная соленость ее и обратно, и то же бывает с оттоком, поэтому приведенные числа солевого баланса озера будут практически верны и для тех лет, когда приток и отток воды будут пропорционально выше или ниже.

¹⁾ Соображения автора о происхождении химизма Каравансарайских и Рандамальных родников и приводимый ниже расчет баланса углекислоты в озере, в виду наличия разногласий, помещаются Редакцией в дискуссионном порядке. (Примечание редакции).

Таблица 9

	Приток солей	Осаждение	Расход	Уход в атмосферу
	(в	т о н	н а х)	
K	2 160	812	1 348	0
Na	6 320	1 450	4 870	0
Ca	13 600	11 464	2 136	0
Mg	5 040	1 518	3 522	0
Cl	3 960	0	3 960	0
SO ₄	3 840	2 785	1 055	0
HPO ₄	184	122	62	0
CO ₂	59 840	12 610	20 596	26 635
SiO ₂	23 360	23 158	202	0
NH ₄ +NO ₃ +NO ₂ .	1 080	0	0	1 080 в виде N ?
Окисляемость в O ₂ (орган. вещ.) . .	880	0	132	748 в виде CO ₂
Сумма	120 264	53 919	37 883	28 463
%/о	100	44,8	31,5	23,7

Приведенные числа показывают, какое огромное количество и каких солей приобретает озеро за годичный период и как, куда и сколько этих солей расходуется озером за тот же период. Эти числа дают нам наглядное представление о тех солях и об их ресурсах, что ежегодно воды Занги унесут на поля, если они будут утилизированы в целях орошения. Возьмем, например, калий. Притоки озера несут в него ежегодно свыше 2000 тонн калия. Этого количества достаточно для компенсации потерь в калии 50—60 тыс. га на хороший урожай пшеницы. Фосфора эти же воды несут ежегодно столько, чтобы покрыть примерно потребность только 2—3 тыс. га урожая.

В связи с солевым балансом заслуживают быть отмеченными следующие особенности химического режима озера.

1. Из пресной воды озера выпадает в осадок в течение года огромное количество таких легкорастворимых ионов, как Na, Mg, K и др. Это вызывается тем, что кислая по фенолфталеину вода притоков лишает поглотительный комплекс взвешенных наносов катионов в большой мере, чем та же вода, превращенная в озере в щелочную. И в итоге эти более выщелоченные взвешенные речные наносы с поступлением их в озеро неминуемо возвращают себе из воды озера часть потерянных ими катионов.

2. Огромное количество 2785 тонн серного аниона ежегодно исчезает из воды озера, благодаря переводу его в серу. Это свидетельствует о значительном развитии серо-бактерий даже в таком богато насыщенном кислородом водоеме, как озеро Севан. Это же поясняет, откуда фильтрующаяся из озера через Еленовскую гряду вода получает сероводород: эти родники при дебите их 0.3 м³/сек и содержании 0.22 мг H₂S выносят лишь 1/600 образующегося в озере сероводорода.

3. Озеро, несмотря на щелочность воды ($pH=9.25$), отдает в атмосферу на протяжении года 26.6 тыс. тонн¹⁾ или 44.5% всей поступающей в него углекислоты. Это явление мы считаем возможным объяснить тем, что в процессе испарения поверхностного слоя воды гидрокарбонаты распадаются на карбонаты и свободную углекислоту и последняя увлекается парами воды в атмосферу. Объяснение это противоречит господствующим в лимнологии и океанографии взглядам, по которым карбонатная щелочность воды озер и морей создается биологическими факторами и уже приобретшие щелочность водоемы (pH больше 8.4) не только не отдают углекислоты в атмосферу, но поглощают ее оттуда. Такие взгляды расходятся, как с теоретическими данными физикохимии, так и с эмпирическими.

Равновесие между гидрокарбонатами и карбонатами в естественных водах при наблюдаемой концентрации, характере солености и температуре, особенно в водах содового или борного типа, наступает лишь тогда, когда pH больше 8.1. Водоемы, особенно южные, наиболее щелочные, характеризуются перевесом в них зоо-обитателей над фито обитателями, вследствие чего процессы минерализации органических веществ превалируют над процессами созидания их, а потому образование карбонатной щелочности этих водоемов никак нельзя объяснить влиянием биологических факторов. Там, где в водоемах происходит интенсивное накопление органических веществ (умеренно-холодная и прилегающая к ней тундровая область), не наблюдается вовсе карбонатной щелочности воды.

Сличение прихода и расхода солей озера Севан в целом обнаруживает, что в конечном итоге озеро больше всего накапливает в растворе хлора, натрия и др. наиболее растворимых и индифферентных элементов, т. е. прodelывает частицу пути преобразования пресных вод в морскую.

В заключение отметим, что уносимые в озеро 120 тыс. тонн солей в год, при удельном весе их около 2,5, составляют слой ежегодного сноса с водосборного бассейна толщиной в 0,013 мм. 44,8% из этих солей, при удельном их весе около 2,0 (много легкой аморфной кремнекислоты), осаждаясь дают ежегодный слой донных отложений по всему озеру в 0,02 мм.

ОБЩАЯ ОЦЕНКА ВОДЫ

Подробная ирригационная оценка воды дается в очерке о поливных качествах воды озера Севан и р. Занги. Здесь мы ограничимся лишь указанием, что согласно универсальной характеристики по Стеблеру вода озера Севан обладает ирригационным коэффициентом 13,2, что означает принадлежность этой воды к классу удовлетворительных поли-

¹⁾ Эту величину надо рассматривать как ориентировочную. 12,2 тыс. тонн поступающей в озеро с речным притоком свободной углекислоты, возможно, преувеличено и требует уточнения. С другой стороны, в озеро поступает много органического материала с речными наносами, минерализация которого в озере является дополнительным источником углекислоты.

вных вод. При орошении подобной водой почв, за исключением супесчаных и скелетных с хорошим дренажем, признается необходимость мероприятий, предупреждающих накопление в почвах щелочей. Последние мероприятия, при орошении севанской водой, в наиболее рентабельном виде сводятся к простому гипсованию почвы. При особо тяжелых почвах с затрудненным дренажем потребуются технические меры к увеличению дренажа. Максимально потребное количество гипса при поливной норме, 5000 м³ севанской воды¹⁾, определяется ежегодно 8 центнерами на гектар.

Заслуживает быть отмеченным богатство воды озера калием. В нем накопилось свыше 1,5 млн. тонн K₂O. Стоимость этого количества калия как удобрительного тука, определяется числом порядка 75—90 милл. рублей золотом. На гектар площади, при поливной норме в 5000 м³, водой озера будет доставляться до 110 кг калия. Это почти в три раза превышает потребность в нем хорошего урожая целого ряда культур.

Вода притоков оз. Севан обладает ирригационными щелочными коэффициентами, колеблющимися в пределах от 53 до 827. Согласно этих показателей, все притоки характеризуются безусловно хорошими поливными качествами. Однако щелочной характер воды притоков западного, южного и юго-восточного побережья озера Севан все же предопределяет необходимость спорадического гипсования особо тяжелых почв при продолжительном орошении их этими водами.

Оценка естественных вод в смысле их питьевых качеств производится с санитарной и химической точек зрения. Вода озера Севан, отличаясь небольшой окисляемостью, насыщенностью кислородом и отсутствием азотосодержащих солей, очевидно, не должна содержать и вредных бактерий (за исключением придонных слоев) и поэтому может быть признана вполне удовлетворительной в санитарном отношении. Та же вода, согласно общей ее минерализации и по содержанию отдельных солевых компонентов, удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к питьевой воде, а отсюда она может быть отнесена к категории удовлетворительных питьевых вод. Для обоснования сделанного вывода укажем, что существующие требования к питьевым водам в Англии, во Франции, в Германии, у нас в СССР и в других странах допускают общую минерализацию воды от 500 до 2500 мг в литре, жесткость в 15—60 немецких градусов, окисляемость в O₂ от 0,5 до 7 и т. д.

Вода притоков озера Севан, отличаясь гораздо меньшей минерализацией и меньшим содержанием ионов натрия и магния, за исключением весеннего паводкового периода, когда она содержит много мути и может не удовлетворять санитарным требованиям, должна быть признана хорошей питьевой водой.

Для хозяйственных и промышленных назначений воду озера Севан обладающую жесткостью в среднем 17,7 нем. градусов, нельзя признать

¹⁾ В действительности орошение будет производиться водой значительно меньшей минерализации, благодаря разбавлению ее по пути водой притоков.

вполне благоприятной. Гораздо лучше для этих назначений воды притоков озера, средняя жесткость которых не превышает 4 градусов.

Таксация воды, как среды для биообитателей, является задачей нелегкой. Согласно кислородного режима, водная среда оз. Севан, как постоянно близкая к 100% насыщению кислородом, должна быть признана благоприятной, как для растительных, так и для животных организмов. В смысле же солевого состава далеко не все обстоит здесь благополучно. В первую очередь, как это видно из среднего анализа (табл. 4) и солевого баланса озера, озеро обнаруживает отсутствие или недостаток связанного азота. Несомненно, что для обильного развития в воде озера фитопланктона, в ней нехватает связанного азота. Но это далеко не все: моря тоже не отличаются обилием азота, но нередко изобилуют фитопланктоном. Вторая и, вероятно, основная причина, ограничивающая биологическую продуктивность озера, кроется в высокой активной щелочности воды. Вода нейтральная или близкая к ней, например, морей и ряда др. естественных вод, является универсальнейшим растворителем. Вода щелочная (озера Севан) и кислая является уже менее универсальным растворителем. Так например, щелочная вода озера Севан сможет удерживать в растворе гораздо меньшее количество необходимых растениям Fe и его группы, Mn, As, Sb и т. д., чем почти нейтральная вода морей и др. водоемов. Отсюда мы делаем предположение, что в силу постоянной высокой щелочности, в воде озера находится в минимальном количестве ряд элементов, имеющих, быть может, лишь чисто катализо-энзимное значение, но тем не менее, остро необходимых для развития водной флоры, и поэтому озеро не обладает и не может обладать при современном состоянии химизма воды высокой органической продуктивностью.

В очерке о поливных качествах воды озера Севан довольно подробно разобран вопрос о том, как будет изменяться химизм воды по мере искусственного понижения уровня озера. Поэтому здесь мы ограничиваемся только общими выводами.

Вследствие увеличения проточности озера и сильного уменьшения потерь на испарение с его поверхности, общая концентрация солей в воде озера при понижении его уровня на 50 м уменьшится до 200—250 мг на литр, соли кальция будут преобладать над солями натрия и магния, ирригационные и другие качества воды будут выше современных. Изменение химизма воды повлечет за собой увеличение органической продуктивности озера.

В Ы В О Д Ы

1. Озеро Севан принадлежит к водоемам с относительно постоянным и однородным химическим составом воды: крайние величины содержания отдельных растворенных в воде элементов на различных глубинах и в разных районах озера, за исключением мелководных полузамкнутых бухт и небольших участков близ устьев рек, не отклоняются свыше, чем на 1—2% от среднего состава воды озера (табл. 4). Причина этого явления кроется: 1) в интенсивности перемешивания воды конвек-

ционными токами, 2) в частых и весьма сильных волнениях на озере, 3) в отсутствии питания озера подводными минерализованными родниками и в ряде других менее существенных моментов.

2. Озеро Севан характеризуется постоянством химического состава воды в пределах $\pm 1-3\%$ колебаний солености на протяжении годового и многолетнего периодов. Это объясняется: 1) незначительностью притока воды по сравнению с запасами ее в озере: приход воды из всех речек и родников в среднем за день составляет 0,004%, а за год 1,5% объема воды в озере, 2) равновесным состоянием между годовым притоком солей и расходом их: сумма притока солей равна сумме солей оттока плюс сумма солей осаждаемых и поглощаемых водоемом плюс сумма продуктов распада солей уходящих в атмосферу.

3. Общая средняя концентрация растворенных в воде озера Севан солей, 551,8 мг в литре, определяет принадлежность озера к классу пресных водоемов.

4. По характеру солености озеро Севан принадлежит к содовому (щелочному) типу: доминирующими в воде анионами являются радикалы углекислоты и сумма эквивалентов щелочей в ней всегда больше суммы эквивалентов сильных кислот. Причина содовости озера Севан коренится в преобладании в водосборном бассейне озера лав основного характера, которые сообщают дренирующим эти породы и питающим озеро водам преобладание щелочей над сильными кислотами.

5. Вода озера Севан отличается повышенной активной реакцией $pH=9,25$ и соответственно повышенным содержанием иона $CO_3=36,0$ мг в литре. Сама возможность этого явления вытекает из содового типа воды и в то же время есть следствие процесса упаривания воды озера, сопровождаемого распадом гидрокарбонатов на карбонаты и свободную углекислоту и уходом последней в атмосферу.

6. Характерной особенностью воды озера Севан является ее магnezияльность: соли магния составляют 45,2% всех растворенных солей. В процессе упаривания воды в озере и приобретения ею повышенной щелочности катион извести выпадает большей частью в осадок, а в растворе скопляется менее осаждаемые катионы магния, натрия и калия.

7. Озеро Севан принадлежит к водоемам с повышенным содержанием растворенного кислорода (табл. 5), что в значительной мере обусловлено конвекционными токами.

8) Биогенное потребление кислорода в воде всех районов озера Севан, за исключением мелководных бухт, превалирует над биогенным фотосинтетическим обогащением ее кислородом.

9. Притоки озера Севан несут воду соленостью от 68 до 213 мг в литре при их средней годовой солености в 137 мг. В среднем они содержат в растворе больше щелочей, чем сильных кислот, давая таким образом воду содового типа, которая, в конечном итоге преобразовываясь в воду озерную, не теряет своей содовости.

10. Притоки палеотипного рельефа (северное и северо-восточное побережье) имеют воду соленого типа $r' (Cl + SO_4 + NO_3) > r' (Na + K)$

и богаче известью, но беднее силикатом и фосфатами, чем притоки кайнотипного рельефа (западное и южное побережье) с содовым типом воды

11. Актуальным источником прихода солей в озеро является лишь поступление их в растворе воды притока с сухого бассейна. Статьями расхода солей в озере являются: 1) надземный и подземный (фильтрация) сток воды, 2) осаждение солей на дно и поглощение их донными отложениями и бактериальными процессами и 3) уход продуктов распада солей (CO_2) в атмосферу.

12. Озерная вода с ее соленостью есть конечный продукт от 12,7-кратного упаривания воды притоков, в растворе которой сохранилось все первоначальное количество хлора, 77,5% натрия, 69,9% магния, 62,4% калия и т. д. (табл. 8).

13. Сличая приход хлора в озеро с расходом и учитывая постоянство его содержания устанавливаем, что весь отток воды из озера (надземный плюс фильтрация) во многолетнем периоде не должен превышать $2 \text{ м}^3/\text{сек.}$

14. В течение года в озеро поступает 120 тыс. тонн растворенных солей. Из этого количества 44,8% осаждается в озере, образуя слой отложений по всему озеру толщиной около 0,02 мм, 31,5% выносятся из озера вместе со стоком и 23,7% уходит в атмосферу (табл. 9).

15. Вода озера Севан характеризуется средним ирригационным (щелочным) коэффициентом Стеблера в 13,2 и согласно этому принадлежит к удовлетворительным поливным водам, при утилизации которых признают необходимыми мероприятия, предупреждающие накопление в почве щелочей.

16. Внесение 8 центнеров гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) на гектар площади при поливной норме в 5000 м^3 преобразует воду озера в хорошую ирригационную с коэффициентом Стеблера выше 20.

17. Вода притоков оз. Севан обладает ирригационным коэффициентом в пределах от 53 до 827, соответственно чему вода всех притоков признается прекрасным поливным материалом.

18. По питьевым качествам воду озера Севан следует отнести к категории удовлетворительных вод.

19. Для хозяйственных и промышленных назначений воду озера нельзя назвать вполне благоприятной (жесткость 17,6 немецк. градусов). Лучше для этих целей вода притоков, средняя жесткость которой не выше 4 градусов.

20. Органическую продуктивность озера ограничивают небольшие ресурсы связанного азота и, главное, высокая щелочность воды (pH -9,25).

21. По мере искусственного понижения уровня озера химизм воды будет изменяться в сторону улучшения ирригационных, рыбохозяйственных и др. качеств ее, но радикальное изменение химизма наступит лишь после 50-метрового понижения уровня озера: бытовая соленость оставшегося водоема будет характеризоваться примерно 2-кратной соленостью воды притоков (табл. 6), откуда успеет осесть значительная часть SiO_2 и откуда будут поглощены соли азота.

ЛИТЕРАТУРА.

1. В. И. Бернадский. Живое вещество в химии моря. Изд. Научно-техн. Отд. ВСНХ, Петр. 1923.
2. Г. Ю. Вережагин. Кислород растворенный в природных водах, Гидрох. Матер. VI, Новочеркасск, 1930.
3. L. V. Collet. Les Lacs. Paris, 1925.
4. К. К. Гедройц. Засоление почвы и действие на растения солей, засоляющих почву. Обзор иностранной литературы С. Х. и Лес, 1918.
5. Л. Ж. Гендерсен. Среда жизни. Исследование физико-химических свойств неорганического мира с точки зрения их приспособления к потребностям жизни. Труды Гавардского У-та. Перевод с нем. С. Н. Скадовского и В. И. Шредер.
6. V. Halbfass. Grundzüge einer vergleichenden Seekunde, Berlin 1923.
7. П. Ф. Домрачев. Гидрологический очерк озера Ильменя. Матер. по исслед. р. Волхова и его бассейна, 1926.
8. П. Ф. Домрачев. Рыбохозяйственная оценка биологической продуктивности оз. Ильменя. Матер. по исслед. р. Волхова и его бассейна, 1927.
9. А. А. Завалишин. Предварительный отчет о работах почвенной партии Зак. Эксп. Ак. Наук за 1929. (Рукопись).
10. С. С. Кузнецов. Гидрогеология бассейна озер Севан. Изд. КЭИ Академии Наук СССР, Ленинград, 1930.
11. Р. Д. Купцис. Минеральные воды Пшавии, Хевсурии и Хеви. Закавказ. Краеведч. Сборник, сер. А I Тифлис, 1930.
12. А. И. Липин. Пресные воды и их жизнь, Ленинград, 1926.
13. С. Я. Лятти. Гидрохимические исследования озера Севан и его притоков. Бюлл. Бюро исслед. на оз. Севан, № 7—8, Эривань, 1929.
14. Е. С. Марков. Озеро Гокча, ч. 1, СПб, 1911.
15. М. Митте. Бассейн Гокчинского озера, Горный Журнал, 1891.
16. В. П. Матвеев. Данные по распределению кислорода и хлора в озере Иссык-Куль. Изв. ГГИ, № 24 Ленинград, 1929.
17. Н. В. Симонов. Воды Туркмении. Изд. Акад. Наук, Ленинград, 1929.
18. А. П. Соколов. Новые данные о фильтрации воды из озера Севан. Бюлл. Бюро исслед. на оз. Севан, № 7—8, Эривань 1929.
19. А. С. Уклонский. Материалы для геохимической характеристики вод Туркестана. Изд. Упр. В. Х. Ср. Азии, Ташк., 1926.
20. А. Е. Ферсман. Проблемы Хибинских и Ловозерских тундр. Природа, XVIII, 1929, стр. 380.
21. М. А. Фортунатов и А. Н. Иняевский. К вопросу о вертикальном распределении температуры в Севанском озере, Эривань 1927.
22. Материалы гидрохимических исследований бассейна озера Севан (рукопись).
23. Б. Д. Зайков и С. Ю. Белинков. Гидрометрические исследования в бассейне озера Севан, ч. 1, вып. 2, Ленинград 1932.

HYDROCHEMICAL SURVEY OF LAKE SEVAN

by S. I. LATTI

SUMMARY

The hydrochemical investigations of lake Sevan carried out from 1926 to 1930 aimed at: 1) to characterize the chemistry of the water in the lake and its tributaries, 2) to compute the salt balance with explanation of the inflow, and outflow, and 3) to determine the properties of the water for agricultural, industrial and other purposes.

Altogether for this period there were carried out 59 complete and 484 concise chemical analyses of the water in the lake as well as in its tributaries and 372 oxygen determinations.

As the result of those investigations we draw the following conclusions:

1. Lake Sevan belongs to that type of bodies of water which display a relatively constant and uniform chemical composition: the extreme amounts of separate dissolved elements in different depths and lake regions, with the exception of shallow half closed bays and small areas at the river estuaries do not differ more than $\pm 1-2\%$ from the average chemical composition of the lake water (table 4). This is due: 1) to an intensive mixture of the volume by convection currents, 2) to frequent and rather strong waves on the lake, and 3) to the want of feeding by mineral springs and many other less significant factors.

2. Lake Sevan water is characterized by a constant chemistry in the boundaries between $\pm 1-3\%$ fluctuations of salinity per annual and perennial periods; it is explained: 1) by a relatively small inflow if compared to the supply of the lake: the inflow from all the rivulets and springs daily amounts as an average to 0.004%, yearly — to 1.5% of the lake volume, 2) by the equilibrium between the yearly inflow and outflow of salts: the amount of salt inflow equals its outflow plus the amount of deposited and absorbed salts plus the amount of the products of salt decomposition delivered into the atmosphere.

3. The total average concentration of dissolved salts in the lake Sevan water amounting to 551.8 mg per liter refers the lake to the group of fresh water bodies.

4. As to the character of its salinity lake Sevan belongs to the alkaline type: as predominant anions in the water occur the radicals of carbon dioxide and the quantity of alkali equivalents always exceeds the amount of strong acid equivalents. The cause of its alkalinity (soda content) lies in the prevailing of alkaline lavas in the lake Sevan drainage basin, thus communicating the waters that drain these strata and feed the lake a predominance of alkali over strong acids.

5. The water of lake Sevan is distinguished by an increased active reaction of pH 9—12 and a correspondingly increased CO_3 -ion content amounting to 36.0 mg per liter. This possibility itself is due to the alkaline

type of the water and is at the same time a consequence of evaporation followed by the converting of hydro-carbonates into carbonates and free carbon dioxide, the latter being afterwards delivered into the atmosphere.

6. As characterizing peculiarity of the lake Sevan water its magnesium content has to be noted: magnesium salts form 45.2% of all the dissolved salts. During the process of evaporation, when the water acquires its increased alkalinity, the lime cation is generally deposited and the less settling cations of magnesium, natrium and calium accumulate in the solution.

7. Lake Sevan belongs to that type of water bodies that contain an increased amount of dissolved oxygen (table 5) that is mostly due to convection currents.

8. The biogenetical O_2 -consumption in the water of all the lake regions, with the exception of the shallow bays, prevails the biogenetical photosynthetic oxygen enrichment.

9. The tributaries of lake Sevan carry in water of a salinity of 68—213 *mg* per liter with a mean annual salinity of 137 *mg*. On the average they contain more dissolved alkali than strong acids, thus yielding water of an alkaline type which finally becoming lake water does not lose its alkalinity.

10. The tributaries of the paleotype relief (northern and north eastern coasts) have salt water: $r' (Cl + SO_4 + NO_3) > r' (Na + K)$ — and are richer on lime but poorer on silicates and phosphates than the tributaries of the new formation relief (western and southern coasts) which contain alkaline water.

11. Actually the salts attain the lake only dissolved in the water of the inflow from the dry basin. As items of salt discharge appear: 1) surface and underground runoff (percolation) 2) the settling of salts on the bottom and their absorption by bottom deposits and bacterial processes and 3) the passing over the products of salt decomposition (CO_2) into the atmosphere.

12. The lake water with its salinity is the final production of 12.7 fold evaporation of the inlet water in whose solution is kept the entire primary quantity of chlorine, 77.5% natrium, 69.9% magnesium, 62.4% calium etc (table 8).

13. In the comparing the gain and loss of chlore by the lake and having in mind the constancy of its content we state, that the entire runoff (surface runoff and percolation) must not perennially transgress 2 m^3/sec .

14. Yearly the lake takes in 120000 ton of dissolved salts. 44.8% of them settle on the bottom forming a layer about 0,02 *mm* thick over the whole lake bottom, 31,5% is carried out by the runoff and 23.7% is delivered in to the atmosphere.

15. The lake Sevan water is characterized by the mean irrigation (alkaline) coefficient of Stabler — 13.2 and accordingly considered as satisfactory irrigation water, the use of which requires the application of measures which prevent the accumulation of alkali in the soil.

16. On introducing 8 centners gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) per hectare of the area at a watering norm of 5000 m^3 the lake water is transformed, into good irrigation water — Stabler coefficient exceeding 20.

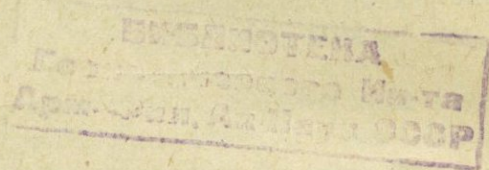
17. The water of all the lake Sevan tributaries possesses an irrigation coefficient in the limits of 53--827, thus being considered an excellent watering material.

18. For drinking purposes the lake Sevan water proves to be satisfactory.

19. For household and industrial purposes it cannot be proclaimed as quite favourable (hardness amounting to 17.6 germ. degrees). The water of the tributaries is better in this respect: the mean hardness of which does not exceed 4 germ. degrees.

20. The organic production of the lake is limited by small quantities of fixed nitrogen and especially by the high alkalinity of the water.

21. Gradually with the artificial sinking of the lake level the chemistry of the water will change, ameliorating its irrigation properties which tend fishindustry and other purposes, but a radical change of its chemistry will only appear after a 50 m lowering of the lake level. The salinity of the remaining basin will approximately equal the twofold salinity of the tributaries (table 6), where a considerable amount of SiO_2 will be deposited and nitrogen absorbed.



53 (снз)
54

Отв. редактор: проф. В. Г. Глушков и В. К. Давыдов.

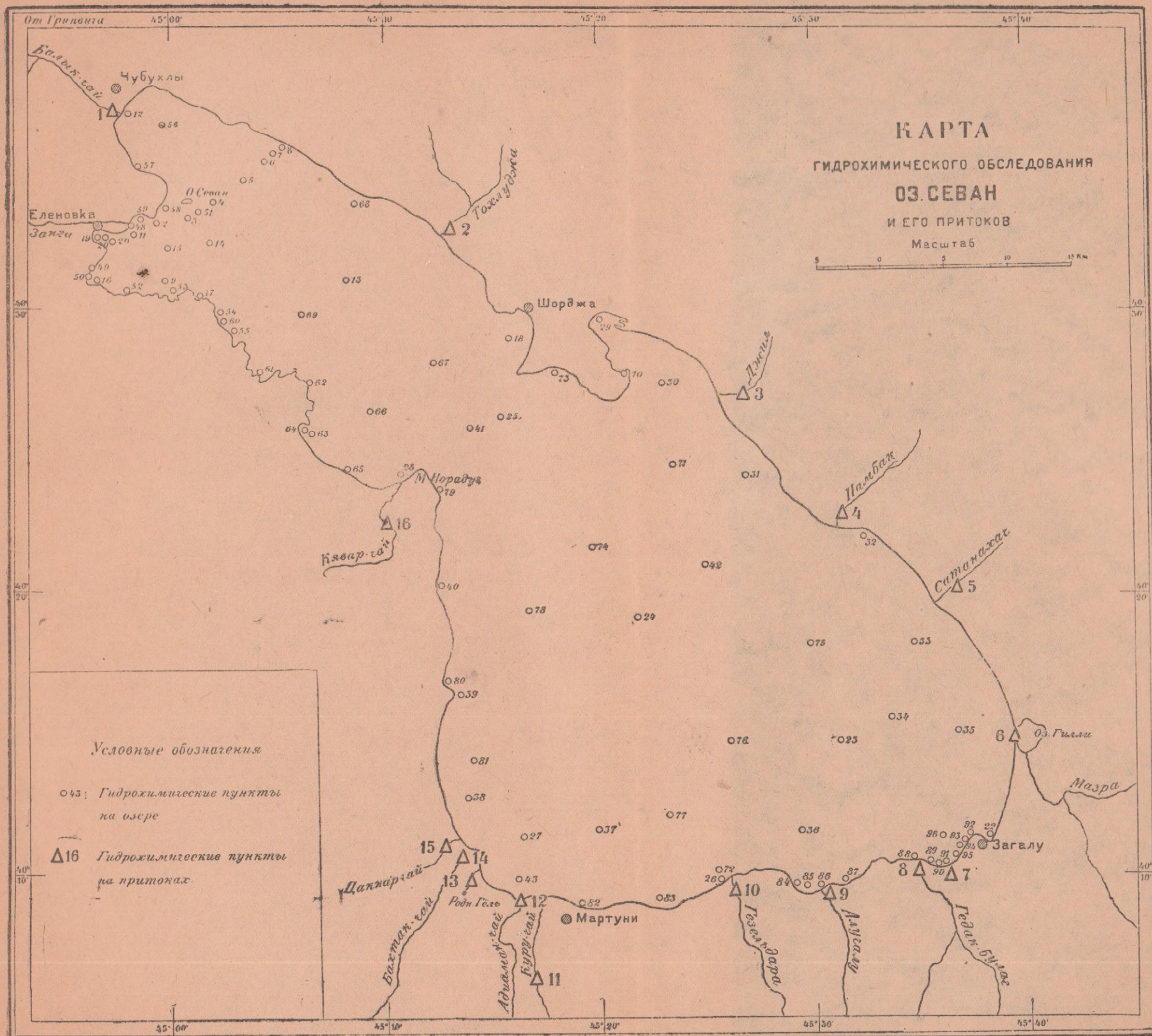
Техническ. редактор: С. Ю. Беликов.

Издание Закавказского Севанского Комитета.

Сдано в набор 17/VIII-1932 г.

Подп. к печ. 17/X-1932 г.
Тип. зн. в 1 п. л. 48.576.

Формат 72 × 105 см.



Цена 1 руб.

1932
2. IV 62

6654

СПИСОК ИЗДАНИЙ СЕВАНСКОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО БЮРО

Бюллетень Бюро гидрометеорологических исследований на оз. Севан:

№ 1—3, Эривань, 1927 г. (разошелся).

№ 4, " 1928 г. "

№ 5—6, " 1928 г. "

№ 7—8, " 1929 г.

Материалы по исследованию оз. Севан и его бассейна:

Ч. I, вып. 1. Гидрометрические наблюдения, Эривань, 1931 г.

Ч. I, вып. 2. Б. Д. Зайков и С. Ю. Белинков. Гидрометрические исследования в бассейне оз. Севан в 1926—1930 гг. Ленинград, 1932 г.

Ч. I, вып. 3. Б. Д. Зайков. Гидрологический очерк бассейна оз. Севан (в печати).

Ч. III, вып. 1. Метеорологические наблюдения на станциях Севанского бассейна. Ленинград, 1931 г.

Ч. III, вып. 3. Н. Г. Николаев и Г. И. Орлов. Снеговой покров в бассейне оз. Севан. Эривань, 1932 г.

Ч. IV, вып. 1. Материалы гидрохимических наблюдений (в печати).

Ч. IV, вып. 2. С. Я. Лятти. Гидрохимический очерк оз. Севан, Ленинград, 1932 г.

Ч. VI, вып. 4. С. Я. Лятти. Грунты оз. Севан. Тифлис, 1932 г.

АДРЕС ИЗДАТЕЛЬСТВА:

г. Эривань, ул. Ленина, 39, Закавказский Севанский Комитет.