

ГИДРОЛОГИЯ

Б. Д. Зайков

Испарение с поверхности озера Севан*

Испарение с поверхности озера Севан количественно преобладает над всеми остальными элементами его водного баланса, что заставляет уделять ему особое внимание. Даже при сравнительно небольших относительных ошибках в определении этой величины, абсолютные ошибки могут достигать значений некоторых других элементов водного баланса, как например, поверхностного и подземного стока из озера. К сожалению, методика непосредственного определения или теоретического расчета испарения с больших водных пространств еще слабо разработана, а общепринятые, проверенные на практике, эмпирические формулы отсутствуют. Поэтому, в каждом отдельном случае, приходится подходить к определению величины испарения разными, взаимно контролирующими друг друга способами.

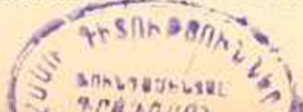
Учитывая вышесказанное, Севанское гидрометбюро поставило в 1927—30 г. г. специальные исследования по испарению, которые имели целью: 1. установление опытным путем зависимости испарения от гидрометеорологических факторов, его обуславливающих и 2. выявление численных значений этих факторов непосредственно для всей поверхности озера.

Для решения первой задачи в различных частях озера (г. Севан, о-в Севан, бухта Глаголь и с. Загалу) были организованы четыре испарительные станции, оборудованные пловучими испарителями Лермантова-Любославского и метеостановками, на которых дополнительно велись наблюдения по полной программе станций II разряда. Не останавливаясь здесь на описании произведенных исследований, опубликованных в работе В. К. Давыдова [1], приведем лишь выведенную на основе этих исследований следующую формулу испарения:

$$E = 0,64 n (e_0 - e_{10}) (1 + 0,125 w_{000}) \quad (1),$$

где E — испарение за месяц в мм, n — число дней в месяце, e_0 — максимальная упругость пара по температуре воды в мм,

* Работа выполнена автором в ВЭНИ АН Арм. ССР в связи с расчетом водного баланса озера за 1925—45 г. г.



Общий подход к решению поставленной задачи, принятый Давыдовым, хотя и является правильным, но все же нельзя иметь полной уверенности в том, что выведенная им формула дает величину испарения с поверхности озера достаточно близкую к действительной. Анализируя причины возможных в данном случае отклонений можно выделить следующие основные факторы, влияющие на точность расчета испарения:

1. наличие у испарителей, а также у рам, на которых они устанавливаются, бортиков, защищающих от ветра поверхность воды, обычно влияет в сторону уменьшения испарения, но в некоторых случаях, вследствие увеличения завихрения, возможен и обратный эффект;

2. смачивание внутренних стенок испарителя, наблюдающееся даже при небольшой волне и при раскачивании пловучего испарителя, могущее повысить испарение на величину до 5%;

3. отсутствие в испарителе эффекта ветра—волны, при известном развитии приводящей к срыву гребня и распылению в воздухе, вызывающих добавочное испарение;

4. различие в условиях турбулентного перемешивания вследствие различия в параметрах шероховатости;

5. возможное различие в градиентах влажности на высоте 0—10 см в испарителе (особенно при ветрах, дующих с берега, у которого установлен испаритель) и над поверхностью озера.

Хотя влияние перечисленных выше факторов и не одного знака, и потому не исключена возможность взаимной компенсации, все же вопрос о применимости выведенной Давыдовым формулы для расчета испарения с открытой поверхности озера Севан остается открытым.

Это прекрасно учитывал и сам автор формулы и потому прибегнул к контрольному расчету испарения по методу теплового баланса. К сожалению, специальных актинометрических наблюдений на озере Севан почти не велось и при расчетах отдельных элементов теплового баланса пришлось пользоваться далеко несовершенными эмпирическими формулами, некоторые из которых, как например формулы излучения с водной поверхности, дают результаты, расходящиеся до 100%. Вызывает сомнение и величина конвекционного теплообмена, определявшаяся по формуле Шулейкина. Поэтому, произведенный Давыдовым расчет испарения по тепловому балансу не является убедительным.

В данном случае в целях контроля решено было обратиться к существующим теоретическим формулам, выведенным для расчета испарения в условиях больших водных пространств. Из числа последних мы остановились на известной формуле Свердрупа, удачная попытка применения которой к расчету испарения с поверхности Каспийского моря была произведена В. К. Давыдовым [2].

Формула Свездрупа, выведенная из уравнения турбулентной диффузии, имеет вид:

$$E = \frac{0,216 \, n \, (e_0 - e_{z_1}) \, w_{z_2}}{0,0872 \, \lg \frac{z_1 + z_0}{z_0} \lg \frac{z_2 + z_0}{z_0} + \Delta z \, w_{z_2}} \quad (3),$$

где E — испарение за месяц в мм, n — число дней в месяце, e_0 — максимальная упругость пара при температуре поверхности воды в мм, e_{z_1} — абсолютная влажность воздуха в мм на высоте z_1 (см) от поверхности воды, w_{z_2} — скорость ветра на высоте z_2 (см) в м/сек., z_0 — шероховатость водной поверхности в см и Δz — толщина пограничного (ламинарного) слоя в см.

Серьезным препятствием для широкого практического применения этой формулы к расчету испарения с водной поверхности является отсутствие разработанной методики для определения средних значений параметров z_0 и в особенности Δz .

Шероховатость водной поверхности, как известно, зависит от скорости ветра и носит характер подвижной волнистой шероховатости, т. е. вместе с воздушным потоком, в одном и том же направлении, передвигается и ветровая волна, в силу чего снижается и по-верхностное трение.

Параметр шероховатости определяют обычно путем одновременного измерения скоростей ветра на одной и той же вертикали.

Логарифмическое выражение для изменения скорости ветра с высотой имеет вид:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\lg \frac{z_1}{z_0}}{\lg \frac{z_2}{z_0}} \quad (4),$$

откуда

$$\lg z_0 = \frac{w_2 \lg z_1 - w_1 \lg z_2}{w_2 - w_1} \quad (5),$$

где w_1 — скорость ветра на высоте z_1 от поверхности воды, w_2 — то же на высоте z_2 и z_0 — параметр шероховатости.

Эпизодические наблюдения над профилем ветра в океанических условиях, обработанные Росби, показали, что в случае быстро меняющихся условий волнения, параметр z_0 может достичь очень высоких величин (до 20 см), но при умеренных устойчивых ветрах поверхность моря как бы приспосабливается к тому, чтобы дать возможность воздуху передвигаться над ней наиболее экономичным образом, и параметр волнения колеблется в пределах 0,35—0,85 см, составляя в среднем около 0,6 см.

Аналогичного рода наблюдения, поставленные П. П. Кузьминым [3] на Белом и Каспийском морях показали, что начиная от скорости 3 м/сек. и выше, величина z_0 при устойчивых ветрах дей-

ствительно остается постоянной и не зависит от скорости ветра. Те же наблюдения показали, что в условиях одного и того же ветра величина параметра z_0 различна для разных водоемов и даже для различных участков одного и того же водоема, что зависит, видимо, от морфологических особенностей каждого водоема, а, следовательно, и от неодинакового состояния волнения, вызываемого ветром.

Так, для Белого моря в районе о-ва Средние Луды $z_0 = 1,5$ см (большие глубины), а в береговой полосе Кандалакшского залива $z_0 = 0,5$ см; для Каспийского моря в районе о-ва Чечень (на мелководье) $z_0 = 0,15$ см.

Специальных наблюдений над профилем ветра на Севане, как известно, не велось, и так как для расчета испарения необходимо осредненное как по времени, так и по поверхности моря значение z_0 , то указанные выше эпизодические наблюдения, относящиеся к тому же в большинстве случаев к океаническим условиям, использовать не представилось возможным. В данном случае было поступлено так, как поступил Свердруп в своей первой работе, приняв приближенное значение параметра шероховатости равным $1/30$ средней (или $1/40$ максимальной) высоты волны. Основанием к этому явились опыты Прандтля, нашедшего, что для некоторых типов искусственно полученных поверхностей, путем приклеивания зерен песка различной крупности к гладкой поверхности, параметр шероховатости равен около $1/30$ диаметра зерна.

Высота волны рассчитывалась, исходя из формулы В. Г. Андриянова [4]:

$$h = 0,0208 w^{3/4} D^{1/3} \quad (6),$$

где h — высота волны в м, w — скорость ветра в м/сек. и D — длина разгона в км.

Средняя по протяжению разгона высота волны определялась как

$$h_{\text{ср.}} = \frac{\int_0^d h \cdot dD}{D} = 0,0156 w^{3/4} D^{1/3} \quad (6'),$$

а средняя высота волны для всего водоема вычислялась как среднее арифметическое из значений по формуле (6') для наибольшего и наименьшего разгонов по водоему.

Учитывая наличие на озере Севан крутых приглубых берегов, вызывающих интерференцию волн и образование толчей, в полученную по этой формуле величину был введен коэффициент $K=1,3$, отражающий большую высоту волн толчей (для правильной стоячей волны — „волны плеса“ $K=2,0$).

Положенные в основу этого расчета данные и полученные ре-

зультаты, вместе с аналогичными данными по морям Каспийскому и Аральскому, которые будут использованы ниже, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчет средней высоты волны и параметра z_0

	оз. Севан	Каспийское море	Аральское море
Наибольший разгон D макс., км	70	1000	350
Наименьший разгон D мин., км	15	300	200
Средняя скорость ветра w , м/сек. . . .	3,5	5,0	3,5
Средняя высота волны по протяжению D макс., м	0,31	1,2	0,52
Средняя высота волны по протяжению D мин., м	0,18	0,78	0,44
Средняя высота волны по зеркалу, м . . .	0,24	0,99	0,48
Принятая средняя высота волны по зеркалу h ср., м	0,35	1,0	0,5
Параметр шероховатости $z_0 = 1/30 \cdot \frac{1}{h \text{ ср.}}$ h ср. 100 см	1,2	3,3	1,7

Как видно из этой таблицы, значение параметра z_0 для Севана получилось 1,2 см, а для Каспийского и Аральского морей—соответственно 3,3 и 1,7 см.

Еще более сложной задачей является определение толщины пограничного слоя. Толщина его непрерывно меняется, в известные моменты сходя даже на-нет, но при вычислении средних величин испарения, без больших погрешностей, ее можно принять постоянной, как это и делается пока всеми исследователями.

Приближенное значение толщины пограничного слоя было рассчитано по нижеследующей формуле, выведенной П. П. Кузьминым [5] из условий равенства переноса водяного пара внутри турбулентной зоны переносу через слой диффузии:

$$\Delta z' = 0,0863 \lg \frac{z_1 + z_0}{z_0} \lg \frac{z_2 + z_0}{z_0} \frac{(e_0 - e)}{(e - e_{z_1}) w_{z_2}} \quad (7)$$

или более точно:

$$\Delta z = 0,0863 \lg \frac{z_1 + z_0}{z_0 + \Delta z'} \lg \frac{z_2 + z_0}{z_0} \frac{(e_0 - e)}{(e - e_{z_1}) w_{z_2}} \quad (8),$$

где e —абсолютная влажность воздуха на верхней границе пограничного слоя в мм. Значение последней было определено экстраполяцией кривой распределения влажности по вертикали, построенной на основе градиентных наблюдений на острове Севан.

В соответствии с данными наблюдений ($z_1 = 200$ см, $z_2 = 900$ см, $w_{z_2} = 3,5$ м/сек., $e_0 = 9,5$ мм, $e = 7,7$ мм и $e_{z_{100}} = 6,1$ мм) по вышепри-

веденным формулам 7 и 8 были определены значения $\Delta z' = 0,179$ см и $\Delta z = 0,173$ см, или округло $\Delta z = 0,17$ см.

Для сравнения укажем, что для Каспийского и Аральского морей, величина испарения с поверхности которых может считаться более или менее точно установленной (табл. 4), значения Δz , вычисленные из формулы испарения Свердрупса, получились соответственно равными 0,18 и 0,16, т. е. близкими к определенному выше для Севана.

Определив указанными выше способами значения параметров z_0 и Δz , выражение:

$$\frac{0,216}{0,0872 \lg \frac{z_1 + z_0}{z_0} \lg \frac{z_2 + z_0}{z_0} + \Delta z w_{z_2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

в формуле Свердрупса можно заменить множителем

$$A = f(w_{z_2}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

В таком случае формула Свердрупса примет вид обычной одночленной формулы испарения:

$$E = A n (e_0 - e_{z_1}) w_{z_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Значения входящего в эту формулу переменного множителя A в функции от скорости ветра могут быть определены по предварительно составленной вспомогательной таблице (табл. 2) или по графику $A = f(w_{z_2})$, представленному на рис. 1.

Таблица 2

Таблица значений $A = f(w_{z_2})$ (для условий Севана)

м/сек.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,	0,240	0,236	0,232	0,228	0,224	0,219	0,215	0,211	0,208	0,205
3,	0,202	0,199	0,196	0,193	0,190	0,187	0,184	0,181	0,178	0,176
4,	0,174	0,171	0,169	0,167	0,165	0,163	0,161	0,159	0,157	0,155
5,	0,153	0,151	0,149	0,147	0,145	0,144	—	—	—	—

Путем подстановки в формулу (11) месячных значений разностей упругости водяного пара и скорости ветра, а также переменного коэффициента A , были получены месячные и годовые суммы испарения с поверхности озера за каждый год периода 1927—30 г. г. Средние за четырехлетний период величины месячных сумм испарения приведены в табл. 11, а годовые суммы испарения за каждый год в отдельности—в табл. 3 в сопоставлении с аналогичными данными, полученными по формуле Давыдова и по водному балансу озера.

Таблица 3

Испарение с поверхности оз. Севан, в см

Годы	По формуле Давыдова	По формуле Свердрупна	По водному балансу	Среди.
1927	83	80	83	82
1928	76	74	77	76
1929	88	83	80	84
1930	92	94	89	92
Средн.	85	83	82	83

Как видно из таблицы, величины испарения, определенные по эмпирической формуле Давыдова и теоретической формуле Свердрупна, получились достаточно согласными и расходятся в среднем не более чем на 2,5%, а в отдельные годы отклонения не превышают 6% (1929 г.). Не меньшее согласие наблюдается и между величинами, определенными по указанным формулам, с полученными по водному балансу озера. При этом лучшее совпадение обнаруживают данные расчета по формуле Свердрупна, которые отклоняются от данных по водному балансу в среднем несколько более 1%, с колебаниями в отдельные годы от +4,0% (1928 г.) до -5,6% (1930 г.), в то время как рассчитанные по формуле Давыдова показывают несколько большие величины отклонений, соответственно 3,6%, 0% (1927 г.) и -10% (1929 г.).

Как уже выше указывалось, каждая из принятых для расчета испарения формул обладает теми или иными присущими ей недостатками; не лишен последних и расчет испарения по водному балансу, ошибки в определении которого могут проистекать в основном из-за недостаточной точности учета атмосферных осадков, играющих весьма существенную роль в приходной части водного баланса (около 40%) и в меньшей степени от точности учета притока воды в озеро и других элементов. Однако, несмотря на имеющиеся недочеты, все три способа подсчета испарения с поверхности озера дают достаточно близкие результаты и контролируют друг друга. Само собой разумеется, что наши расчеты стали бы еще более убедительными, если бы удалось показать, что принятые для расчета испарения с поверхности озера Севан формулы приложимы и к другим водоемам, как, например, Каспийское и Аральское моря. Величины испарения с этих водоемов могут считаться более или менее точно установленными по их водному балансу [6,7], а кроме того, по этим водоемам имеются в настоящее время гидрометеорологические данные (табл. 4), относящиеся так же, как и на Севане, к открытой водной поверхности.

Таблица 4
Испарение с поверхности Каспийского и Аральского морей

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Каспийское море (1904, 14—19, 24—29, 31—36 г.г.)													
$e_0 - e_{200}$, мм	1,5	1,3	1,3	1,9	3,1	4,5	6,0	6,4	5,9	4,1	2,9	1,8	3,4
w_{100} , м/сек.	5,5	5,6	5,3	5,0	4,6	4,5	4,6	4,8	5,3	5,4	5,9	5,8	5,2
E , мм	50	46	34	16	33	91	127	155	144	124	101	67	988
Аральское море (1912—17, 26—39 г.г.)													
$e_0 - e_{200}$, мм	2,5	2,1	1,5	0,5	2,5	4,2	5,4	6,9	7,1	5,5	4,1	3,0	3,8
w_{100} , м/сек.	3,0	3,6	3,7	3,8	3,9	3,6	3,5	3,4	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
E , мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	930

Произведенные в указанном направлении исследования показали, что формула Давыдова, если абсолютную влажность взять на обычной высоте 200 см, где она фактически и наблюдалась над озером, принимает вид:

$$E = 0,47 n (e_0 - e_{200}) (1 + 0,125 w_{100}) \quad (12)$$

и представляет частный случай следующей формулы испарения, удовлетворяющей данным всех трех водоемов — оз. Севан, Каспия и Арала:

$$E = A n (e_0 - e_{200}) (1 + 0,125 w_{100}) \quad (13)$$

Коэффициент A в этой формуле — величина переменная и зависит от шероховатости водной поверхности.

Зависимость $A = f(z_0)$ графически представлена на рис. 2 и аналитически выражается так:

$$A = 0,14 \lg z_0 + 0,46 \quad (14)$$

Использованные при выводе формулы (14) данные приведены в табл. 5.

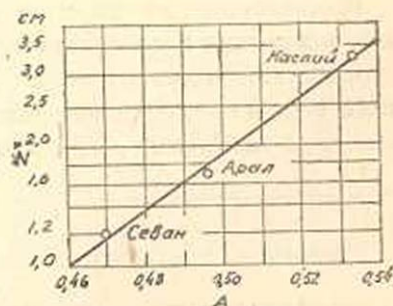
Рис. 2. График зависимости $A = f(z_0)$

Таблица 5

Водоем	Среднее суточное испарение, мм	$e_0 - e_{200}$, мм	w_{100} , м/сек.	z_0 , см	A
Каспийское море	2,71	3,0	5,5	3,3	0,534
Аральское море	2,55	3,6	3,3	1,7	0,497
оз. Севан	—	—	—	1,2	0,470

Переход от наблюдаемой на Каспии абсолютной влажности воздуха e_{600} к требуемой формулой e_{200} был произведен по нижеследующей зависимости, выведенной по данным серийных градиентных наблюдений Кузьмина на Каспийском море для условий установившегося процесса переноса водяных паров от поверхности или снизу вверх (основной тип испарения):

$$\frac{e_z}{e_{200}} = 1 - 0,115 \lg \frac{z}{200} \quad (15),$$

где e_z — абсолютная влажность в мм на высоте z [см] от поверхности воды.

На Аральском море, где градиентных наблюдений над абсолютной влажностью не велось, а высота точки наблюдений (300 см) мало отличается от требуемой формулой, переход произведен приближенно по аналогии с соответствующими данными по Севану и Каспию.

Приведение скорости ветра к высоте 900 см было произведено без больших погрешностей с помощью табл. 6, составленной по данным С. И. Руденко, обработавшим наблюдения над профилем ветра на Каспии и ряде других водоемов.

Таблица 6.

Изменение скорости ветра над водной поверхностью с высотой
(в долях от скорости ветра на высоте 900 см)

Высота в см	600	700	800	900	1000	1100
Скорость в долях	0,945	0,97	0,98	1,00	1,01	1,025

Вычисленные по формуле (13) месячные, а по ним и годовые суммы испарения с поверхности оз. Севан, Каспийского и Аральского морей, как видно из табл. 7, почти в точности совпадают с величинами испарения, определенными для Севана по формуле Давыдова, и для двух остальных водоемов — по водному балансу.

Таблица 7

Водоем	Метод расчета	Испарение, см	Метод расчета	Испарение, см
оз. Севан	Формула Давыдова	85	Формула (13)	85
Каспийское море	водный баланс	99	" "	98
Аральское море	" "	93	" "	92

Из вышесказанного следует, что эмпирические формулы двухчленного вида с постоянным коэффициентом A применимы для расчета испарения лишь в тех условиях, для которых они выведены, а пользование ими в иных условиях, при значительных колебаниях этого коэффициента (в рассматриваемых случаях от 0,47 до 0,53), может привести к существенным ошибкам.

Удовлетворительные результаты, получившиеся в свое время для Каспия и Арала [2,7] при пользовании, например, известной формулой Мейера-Тихомирова, объясняются чистой случайностью. Действительно, если по формуле (12) подсчитать величину испарения с Каспия и Арала по непосредственно наблюдаемым данным (табл. 4), то получаются суммы испарения соответственно 96 и 93 см, т. е. близкие к величинам, определенным по водному балансу, а по приведении данных к требуемым формулой высотам, вычисленные величины испарения оказываются сильно заниженными и одинаково равными 87 см.

Что же касается проверки применимости формулы Свердруп к расчету испарения с поверхности Каспийского и Аральского морей, при условии соблюдения принятых на Севане методов определения основных параметров, то такая проверка могла бы быть произведена только на Каспии, а на Арале, где градиентных наблюдений над влажностью не велось, определить толщину пограничного слоя, принятым на Севане методом, не представляется возможным. Однако, известная устойчивость этого параметра, определенного выше по формуле (8) для Севана ($\Delta z = 0,17$ см), а для Каспия ($\Delta z = 0,18$ см) и Арала ($\Delta z = 0,16$ см) обратным путем, исходя из известной величины испарения и формулы Свердруп, позволяет в первом приближении принять значение его постоянным для всех трех водоемов и равным $\Delta z = 0,17$ см, т. е. значению, полученному для Севана. Рассчитанные при указанном допущении годовые суммы испарения с поверхности Каспийского и Аральского морей, после предварительного получения месячных величин испарения, приведены в табл. 8.

Таблица 8

Годовые суммы испарения, см

Водоем	По формуле Свердруп	По водному балансу	Отклонения в %
Каспийское море	103	99	+4,0
Аральское море	89	93	-4,3

Как видно из таблицы, отклонения вычисленных по формуле Свердруп величин испарения от определенных по водному балансу в общем невелики и заключаются в пределах $\pm 4\%$. Таким образом формулу Свердруп с постоянным значением параметра $\Delta z = 0,17$ см можно считать практически приемлемой для расчета испарения с поверхности всех трех рассматриваемых водоемов.

Наличие общих формул испарения достаточно хорошо удовлетворяющих данным всех трех водоемов—Каспийского и Аральского морей и оз. Севан, является существенной гарантией того, что найденные выше величины испарения с поверхности озера Севан близки к действительным.

Какие же данные следует принять окончательно для расчета?

Результат расчета испарения с поверхности озера Севан по формуле Свердрупа (табл. 3) как в среднем за период, так и за отдельные годы, обнаруживает наилучшее совпадение со средним из всех трех принятых способов расчета—по формулам Давыдова и Свердрупа и по водному балансу, поэтому формула Свердрупа и принимается нами для дальнейших расчетов, как дающая наиболее вероятное значение искомой величины.

Поставив основной задачей настоящего расчета водного баланса озера самостоятельное определение каждого из его элементов, для определения величин испарения за последующие 1931—45 г. г. необходимо было теми или иными путями восстановить значения основных гидрометеорологических факторов, его обуславливающих—температуры поверхности воды, абсолютной влажности воздуха и скорости ветра, т. к. соответствующих наблюдений непосредственно на акватории озера в эти годы не велось.

Температура поверхности воды была восстановлена приближенно по графику, связывающему месячные значения температуры поверхности

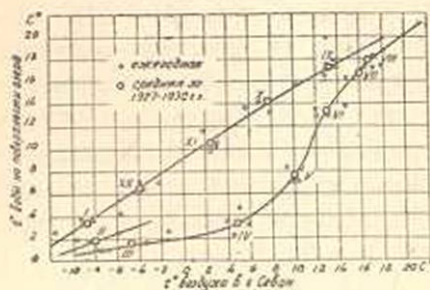


Рис. 3. График связи между температурой воды на поверхности озера Севан и температурой воздуха в г. Севан.

поверхности воды с температурой воздуха в г. Севан, построенному по данным 1927—30 г. г. (рис. 3).

Абсолютная влажность над озером получена как средняя из ее значений, определенных по графикам зависимости абсолютной влажности над озером с абсолютной влажностью на метеорологических станциях в г. Севан и на о-ве Севан (рис. 4 и 5).

Скорость ветра рассчитана по графику, связывающему средние показания четырех действовавших

в 1931—45 г. г. метстанций (о-в Севан, Шоржа, Мартуни и Басар-

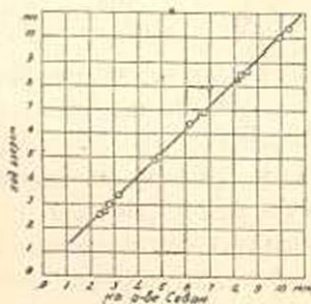


Рис. 4. График связи абсолютной влажности воздуха над озером Севан и на о-ве Севан.



Рис. 5. График связи абсолютной влажности воздуха над озером Севан и в г. Севан.

гечар-Мазра) со средними скоростями пяти станций (о-в Севан, Норадуз, Шоржа, Мартуни и Басаргечар), по которым определялась скорость ветра в 1927—30 г. г. (рис. 6).

Результаты подсчета в виде средних за весь период значений указанных элементов, вместе со средними их значениями за период 1927—30 г. г., приводятся в табл. 9. Здесь же приводятся вычисленные по температуре поверхности воды, максимальные упругости пара и значения разностей упругости пара над озером.

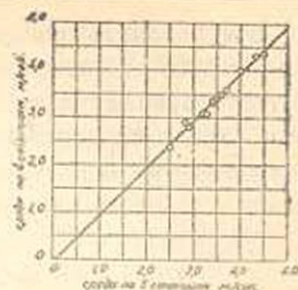


Рис. 6. График связи средних скоростей ветра по 4-м станциям (о-в Севан, Шоржа, Мартуни и Басаргечар) и по 5 станциям (те же плюс Норадуз).

Таблица 9

Гидрометеорологические факторы испарения

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Температура воды на поверхности озера, °C													
27—30	3,4	1,8	1,5	3,3	7,6	13,2	16,8	17,9	17,2	14,2	10,5	6,4	9,5
1927—45	3,6	2,1	1,5	2,9	6,8	12,5	16,8	18,2	16,9	14,0	10,0	5,8	9,3
Максимальная упругость водяного пара, мм													
1927—30	5,8	5,2	5,1	5,8	7,8	11,4	14,3	15,4	14,7	12,2	9,6	7,2	9,6
1927—45	6,0	5,3	5,1	5,7	7,4	10,9	14,4	15,7	14,5	11,9	9,2	7,0	9,4
Абсолютная влажность воздуха над озером, мм (из высоты 2 м)													
1927—30	2,6	2,8	3,3	5,0	6,9	8,7	10,4	10,0	8,5	6,5	5,0	3,4	6,1
1927—45	2,7	2,9	3,2	4,7	6,5	8,5	10,5	10,2	8,6	6,4	4,8	3,3	6,0
Скорость ветра над озером, м/сек. (на высоте 9 м)													
1927—30	3,4	4,5	4,0	3,2	2,5	2,9	3,7	2,8	3,4	3,3	3,6	4,3	3,5
1927—45	4,2	4,4	3,8	3,3	2,6	2,8	3,4	3,2	3,2	3,4	3,7	4,3	3,5
Разность упругостей пара над озером, мм													
1927—30	3,2	2,4	1,8	0,8	0,9	2,7	3,9	5,4	6,2	5,7	4,6	3,8	3,5
1927—45	3,2	2,5	1,9	1,0	0,9	2,4	3,9	5,5	5,9	5,6	4,5	3,7	3,4

Как видно из этой таблицы, значения основных факторов, обуславливающих испарение—разностей упругости пара над озером и скоростей ветра за оба сравниваемых периода, очень близки и, следовательно, рассчитанные по ним величины испарения за оба периода должны быть примерно одинаковы.

Восстановить значения основных гидрометеорологических элементов за 1925—26 г. г. не представилось возможным за отсутствием соответствующих данных наблюдений, и величины испарения за эти годы были определены по водному балансу. Результаты подсчета испарения по формуле Свердрупа (исключая 1925—26 г. г.) в виде годовых сумм за весь период 1925—45 г. г. приведены в табл. 10.

Таблица 10

Годовые суммы испарения с поверхности озера Севан, см

Годы	Испарение	Годы	Испарение	Годы	Испарение	Годы	Испарение
1925	93	1930	94	1935	74	1940	80
1926	98	1931	86	1936	74	1941	93
1927	80	1932	83	1937	68	1942	86
1928	74	1933	79	1938	81	1943	83
1929	83	1934	82	1939	84	1944	84
						1945	79
						Средн.	83

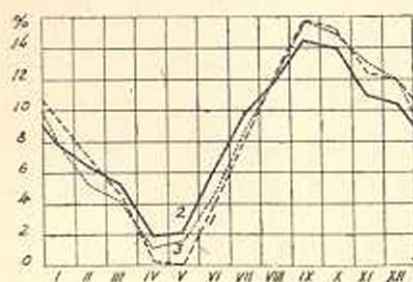


Рис. 7. Годовой ход испарения с поверхности оз. Севан (1—по формуле Давыдова, 2—по формуле Свердрупа 3—по водному балансу).

Средняя за 21 год величина испарения с поверхности озера Севан определилась в 83 см. Наибольшее испарение (98 см) наблюдалось в 1926 г. и наименьшее (68 см)—в 1937 г.

Распределение годовой суммы испарения по месяцам, вычисленное различными способами, в среднем за период 1927—30 г. г., представлено в табл. 11 и изображено на графике (рис. 7).

Таблица 11

Месячные суммы испарения с поверхности озера Севан

Метод расчета	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
В миллиметрах слоя													
По ф-ле Давыдова	80	58	38	2	-1	32	67	104	135	129	105	101	850
По ф-ле Свердрупа	64	51	42	16	17	50	80	98	120	115	90	85	828
по водному балансу	64	42	34	10	13	37	71	97	130	123	108	99	828
В процентах от годовой суммы													
По ф-ле Давыдова	9,4	6,8	4,5	0,2	0,1	3,8	7,9	12,2	15,8	15,2	12,4	11,9	100
По ф-ле Свердрупа	7,7	6,2	5,1	1,9	2,1	6,0	9,7	11,8	14,5	13,9	10,8	10,3	100
по водному балансу	7,7	5,1	4,1	1,1	1,6	4,4	8,6	11,8	15,7	14,9	13,0	12,0	100

Все три способа подсчета, как видно из табл. 11 и рис. 7, дают достаточно согласный годовой ход испарения с минимумом в апреле—мае и максимумом в сентябре—октябре.

В качестве наиболее вероятного годового хода испарения с поверхности озера Севан принимаем средний из всех трех способов подсчета (табл. 12).

Таблица 12

Испарение с поверхности озера Севан

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
$\varphi/10^{\circ}$	8,3	6,0	4,6	1,1	1,2	4,7	8,7	12,0	15,3	14,7	12,0	11,4	100
в мм	69	50	38	9	10	39	72	99	127	122	99	94	828

Хотя приведенный выше годовой ход испарения с поверхности озера выведен всего за четыре года, но его все же можно считать типичным, так как значения основных гидрометеорологических факторов, обуславливающих величину испарения за эти четыре года, как видно из табл. 9, близки к их значениям за более длительный ряд 1927—45 г.г.

Поступило 20 IV 1949.

Водно-Энергетический Институт
Академии Наук Армянской ССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов В. К.—Испарение с поверхности оз. Севан. Мат. по исследованию оз. Севан и его бассейна, ч. II, вып. 2. Ленинград, 1935.
2. Давыдов В. К.—Испарение с поверхности Каспийского моря. Тр. КАСП, вып. XII, Москва—Ленинград, 1941.
3. Кузьмин П. П.—О метеорологических условиях теплообмена между морем и прилегающим слоем воздуха. Метеорология и гидрология, № 4, 1946, Ленинград.
4. Андреев В. Г.—Ветровая волна озеровидных водоемов. Изв. НИИГ, т. XXV, Ленинград, 1939.
5. Кузьмин П. П.—Теплоотдача моря в воздух путем испарения и конвекции. ДАН СССР, новая серия, т. XXI, № 9, 1938.
6. Зайков Б. Д.—Водный баланс Каспийского моря. Тр. КАСП, вып. XII, Москва—Ленинград, 1941.
- Зайков Б. Д.—Современный и будущий водный баланс Аральского моря. Тр. НИУ ГУГМС СССР, сер. IV, вып. 39, Ленинград, 1946.

Բ. Դ. ՋԱՅԿՈՎ

ԳՈԼՈՐՇԻԱՅՈՒՄԸ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅՑՔԻՑ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Սեանա լճի ազատ մակերևույթի վրա հիդրոմետերոլոգիական հաստիկ զիտողություններ կատարվել են 1927—30 թվերի ընթացքում (աղյուսակ 9): Այդ ժամանակամիջոցի համար լճի մակերևույթից զուրբ խաղճման քանակը որոշվել է Վ. Կ. Դավիդովի էմպիրիկ բանաձևով (բանաձև 1), որը դուրս է բերված լողացող զուրբ խաղճուցիչի վրա կատարված զիտողությունների հիման վրա և Սվերդրուպի տեսական բանաձևով (բանաձև 13): Այդ երկու բանաձևով ստացված զուրբ խաղճման քանակի արժեքները բավականին մոտ են ջրային բալանսի հավասարումով ստացված զուրբ խաղճման քանակին (աղյուսակներ 3 և 11, նկար 7): Ինչպես հաջողվել է ցույց տալ, Վ. Կ. Դավիդովի բանաձևը, փոփոխական Δz գործակցով (բանաձևեր 13 և 14) և Սվերդրուպի բանաձևը սահմանամերձ շերտի հաստություն հաստատուն արժեքով ($\Delta z = 0,17$ սմ) բավականաչափ ճիշտ են որոշում զուրբ խաղճման մեծությունը ոչ միայն Սեանա լճի մակերևույթից, այլ և ուրիշ ջրային ավազաններից, ինչպես օր. Կասպից և Արալյան ծովերը: Վերջինների մակերևույթից զուրբ խաղճման քանակը բավականին ճիշտ է որոշվում ջրային բալանսով: Այդ հանդամանքը կարող է երաշխեք ծառայել, որ Սեանա լճի համար որոշված զուրբ խաղճման քանակը մոտ է իրականին: Հաջորդ տարիների ընթացքում (1931—45 թվ.) լճի ազատ մակերևույթի վրա հիդրոմետերոլոգիական զիտողություններ չեն կատարվել: Այդ ժամանակամիջոցի համար զուրբ խաղճման հիմնական ֆակտորները՝ ջրի մակերեսի ջերմաստիճանը, բացարձակ խոնավությունը և քամու արագությունը որոշելու համար կազմված են գրաֆիկներ, որոնք տալիս են լճի վրայի վերահիշյալ արժեքների կապը առափնյա կայաններում դիտված արժեքների հետ (նկար 3—6), որանց անընդհատ զիտողություններ են կատարվել: Այդպիսով 1931—45 թվերի զուրբ խաղճումը որոշված է գրաֆիկորեն: Հիդրոմետերոլոգիական համապատասխան ավյալների բացակայության շնորհիվ 1925—26 թվերի զուրբ խաղճման մեծությունը վերը նշված միջոցով հնարավոր չէր հաշվել. այդ պատճառով ընդունված է ջրային բալանսի հավասարումից ստացված մեծությունը 21 տարվա համար (1925—ից մինչև 1945 թվ.). Սեանա լճի մակերևույթից զուրբ խաղճման միջին մեծությունը ստացվել է 85 սմ, ամենամեծը (98 սմ) դիտվել է 1926 թվին, իսկ ամենափոքրը (68 սմ)—1937 թվին (աղյուսակներ 10 և 12):