

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

А. М. МХИТАРЯН

К ОЦЕНКЕ МИНИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ
ОЗЕРА СЕВАН С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ

Вопрос о влиянии глубины оз. Севан на испарение с его поверхности очень важен в связи с продолжающимся спуском его уровня. Если в естественных условиях оз. Севан — глубоководный водоем, то со спуском его уровня он станет мелкоководным. Это приведет к резкому изменению его термического режима. Ход температуры воды станет ближе следовать за ходом температуры воздуха, ход испарения приблизится к ходу температуры поверхности воды, прогрев в летнее время значительно усилится, ныне почти незамерзающее озеро станет замерзающим почти ежегодно. Это приведет к значительному увеличению сумм испарения в теплую часть года и к уменьшению — зимой.

Все это учитывалось еще В. К. Давыдовым [1]. Но при составлении водного баланса оз. Севан им не произведена соответствующая оценка, так как по старой схеме Б. Севан должен был быть полностью осушен, поэтому вопрос увеличения испарения при достаточно быстром завершении спуска Б. Севана тогда не имел бы значения. Сейчас, в связи с необходимостью сохранить уровень оз. Севан на достаточно высокой отметке, такая оценка совершенно необходима.

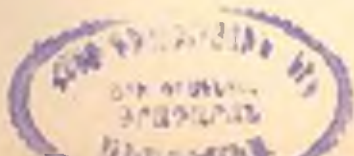
Хотя в литературе имеется понятие о глубоководных и мелкоководных водоемах, все же нет критерия, характеризующего переход между ними. Он зависит, очевидно, от многих факторов, определяющих гидрометеорологический режим водоемов.

В условиях Севана можно предложить много различных определений, остановимся на двух:

1) Глубоководным считается водоем, дно которого не принимает участия в процессах теплообмена, в отличие от мелкоководного, дно которого принимает активное участие в формировании его термического режима

2) Глубоководным считается водоем, который, как правило, не замерзает, в отличие от мелкоководного, который почти всегда замерзает.

Нам представляется возможным оценить глубину, при которой дно примет значительное участие в испарении с поверхности водоема и грубо оценить при этом суммы испарения в годовом разрезе, от-



мечаю, что при дальнейшем спуске испарение станет значительно большим.

Поставим для этого следующую задачу. Известен годовой ход температуры поверхности воды. Определить глубину в условиях Севана, до которой проникают поверхностные температурные возмущения. Напишем уравнение теплопроводности в турбулентном движении жидкости

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k' \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k' \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \varepsilon. \quad (1)$$

Здесь x, y, z — координаты точки, начало координат расположено на поверхности, z — направлено вертикально вниз, t — время; T — температура; u, v, w — компоненты скорости; ε — приток тепла; k' и k — коэффициенты турбулентной теплопроводности по горизонтали и вертикали соответственно.

В условиях Севана это уравнение можно в первом приближении заменить более простым уравнением

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}. \quad (2)$$

Из всех допущений наиболее существенным является условие $k = \text{const}$. В настоящее время в условиях Севана этот коэффициент изучается, и скоро будет получена зависимость

$$k = k(z), \quad (3)$$

что дает возможность внести первое уточнение.

Представим температуру в виде

$$T = \bar{T} + T' (z, t). \quad (4)$$

\bar{T} — некоторая средняя температура, T' — отклонения температуры. Тогда ясно, что T' определяется из уравнения

$$\frac{\partial T'}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T'}{\partial z^2}. \quad (5)$$

Граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} T' &= T'_0(t) \quad \text{при } z=0, \\ T' &= 0 \quad \text{при } z \rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (6)$$

Представим $T'_0(t)$ — отклонения температуры поверхности воды (известная функция времени) от среднего ее значения, в виде ряда Фурье.

$$T'_0 = \sum_{n=0}^{\infty} [a_n \cos(n\Omega t) + b_n \sin(n\Omega t)]. \quad (7)$$

Здесь a_n и b_n — постоянные коэффициенты; $\Omega = 2.10^{-7}$ 1/сек. — угловая скорость вращения Земли вокруг Солнца.

Решение уравнения (5) ищем в виде:

$$T(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ e^{-z_n z} [A_n \cos(n\Omega t - z_n z) + B_n \sin(n\Omega t - z_n z)] \right\}. \quad (8)$$

При этом условие на бесконечности удовлетворено, условие на $z = 0$ дает $A_n = a_n$ и $B_n = b_n$, а подстановка (8) в (5) дает

$$z_n = \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}. \quad (9)$$

Тогда получается следующее решение

$$T(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}} \left[a_n \cos\left(n\Omega t - z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}\right) + b_n \sin\left(n\Omega t - z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}\right) \right]. \quad (10)$$

Пример. Согласно данным наблюдений в нижеследующей таблице 1 приводятся отклонения температуры поверхности воды.

Таблица 1

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средн.
T_0	3,4	1,8	1,5	3,3	7,6	13,2	16,7	17,9	17,2	14,2	10,5	6,4	9,5
T_0'	-6,4	-7,7	-8,0	-6,2	-1,9	3,7	7,2	8,4	7,7	1,7	1,0	-3,1	0

Далее строится кривая $T_n = f(\Omega t)$ и по ней берутся значения T_n через каждые $\Omega t = 15^\circ$. Эта функция разлагается в ряд Фурье и определяются a_n, b_n . Далее по формуле

$$T(z, t) = a_0 + \sum_{n=1}^6 e^{-z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}} [a_n \cos(n\Omega t - z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}) + b_n \sin(n\Omega t - z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}})] \quad (11)$$

восстанавливается $T^*(z, t)$, при различных значениях z , причем

$$z = \sqrt{\frac{\Omega}{2k}} z. \quad (12)$$

В случае молекулярной теплопроводности $k = 10^{-7}$ м²/сек. Подставляя значения k и Ω в (12), получим $z \approx 3.15z$.

В случае же турбулентного перемешивания коэффициент обмена переменный, для приповерхностных слоев имеет порядок

$k = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сек}$; далее с глубиной он уменьшается и приближается к k_0 . Расчеты по различным методам позволяют принять для среднего значения этого коэффициента величину $k = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{сек}$. При этом $z \approx 17,3 \text{ м}$. В таблице 2 представлены глубины для соответствующих номеров кривых рис. 1.

z — безразмерная глубина,

z — глубина в метрах при молекулярной теплопроводности,

z_1 — глубина в метрах при турбулентном перемешивании.

Таблица 2

№№ кривых	1	2	3	4	5	6	7	х
\bar{z}	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	2,0	3,0
z	0,0	0,31	0,94	1,57	2,20	3,15	6,28	9,42
z_1	0,0	1,73	5,20	8,63	12,10	17,31	34,62	51,81

Результаты этих расчетов представлены на рис. 1 и 2. На рис. 1 представлен годовое ход температуры на различных глубинах; на рис. 2 — профили для различных месяцев. Рис. 1 и 2 показывают, что даже для случая грубого анализа температурные возмущения проникают до глубин порядка 20—30 м, но амплитуды колебаний на этих

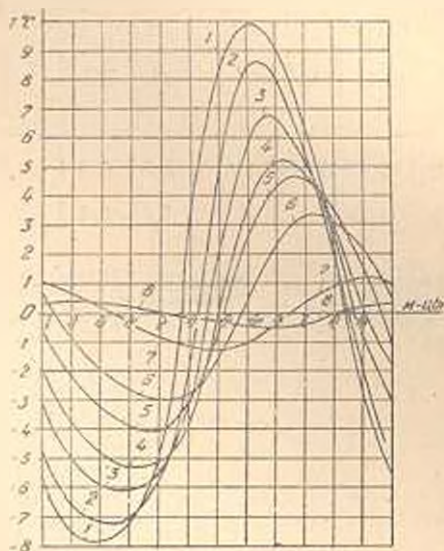


Рис. 1. Годовой ход температуры воды на различных глубинах.

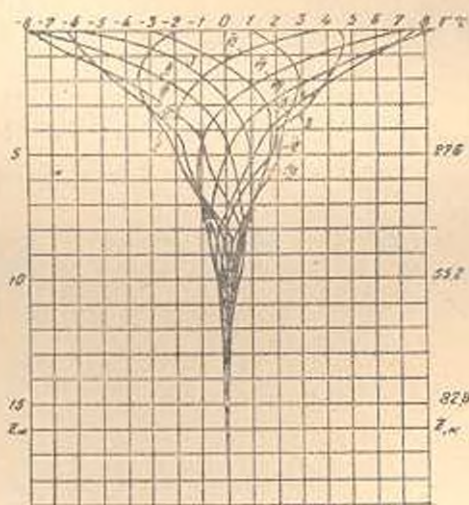


Рис. 2. Вертикальные профили температуры воды в различные месяцы.

глубинах практически небольшие. Если считать амплитуды в $\pm(3-4)^\circ\text{C}$ допустимыми, чтобы дно стало принимать активное участие в теплообмене, то глубину снизу следует ограничить величиной порядка 18—20 м. При глубинах меньше 18—20 м испарение будет увеличиваться, влияние дна станет значительным.

Следует отметить два обстоятельства. Во-первых, при стоянии озера с глубиной 18—20 м значительно изменится годовой ход температуры: во-вторых, в значительной части Б. Севана глубины будут намного меньше 18—20 м, что в свою очередь приведет к увеличению испарения.

Чтобы грубо оценить величину, до которой может увеличиться испарение, предположим, что озеро в своей большей части приблизится к условиям испарительного бассейна, площадью 20 м², установленного на острове. Тогда ясно, что испарение в летние месяцы с озера при глубине 18—20 м будет почти таким, как с бассейна; в зимнее же время будет больше, чем с бассейна.

Пользуясь фактическими данными за 1955 г. (май—ноябрь) и 1956 г. (май—октябрь), восстанавливая испарение за зимние месяцы по формуле бассейна для озера, а также ведя расчет по формуле бассейна для современных условий уреза, несколько уменьшая зимнее испарение, получаем 1100 мм за 1955 г. и 1180 мм за 1956 г. Подобная оценка для испарителя ГГН—3000 в грунте дает 1200 мм только за период май—октябрь. Эти оценки дают основание полагать, что при глубинах порядка 18—20 м со значительной частью площади озера испарение будет порядка 1000 мм в год. Поэтому целесообразно ограничить дальнейший спуск озера Севан с оставлением слоя воды не менее 18—20 м, во избежание значительного испарения с его поверхности.

Водно-энергетический институт
АН Армянской ССР

Поступило 26 V 1958

Ա. Մ. ԽԵՐԹՐԱՆ

ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՆՎԱԳԱԳՈՒՅՆ ԽՈՐՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ
ՀԱՐՅԻ ՄԱՍԻՆ՝ ԳՈՂՈՐՇԻԱՑՄԱՆ ՏԵՍԱԿԵՏԻՑ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Սեանա լճի ապագա խորութեան հարցի բաժումը շատ կարևոր է, քանի որ այժմ դեռ չարունակվում է լճի մակարդակի իջեցումը, որի հետևանքով Սեանը մեծ խորութեան ջրամբարից կարող է անցնել փոքր խորութեան յրամբարի Ջրի ջերմաստիճանի սարևկան ընթացքը այնչի կրճատեա ողի ջերմաստիճանի տարևկան ընթացքին, լճի ջրերի տաքացումն ամառվա ընթացքում կուժեղանա, այժմ համարյա չսառչող լիճը կսառչի գրեթե ամեն ձմեռու Այդ բոլորը կհանգեցնեն այն բանին, որ առանց այդ էլ մեծ գոլոր- շիացումը լճից ամառվա ամիսներին կդառնա այնչի ինտենսիվ, իսկ ձմեռվա փոքրաքանակ գոլորշիացումն այնչի կփոքրանա: Գոլորշիացումը տարվա ընթացքում անշուշտ կմեծանա: Այդ բոլոր հարցերը հայտնի են եղել դեռ Վ. Կ. Գալիլոյին [1], բայց քանի որ Սեանի ջրերի օդաադրծման հին սխե- մայի համաձայն Սեծ Սեանը պետք է չորացվեր ամբողջովին, ապա Սեանի ապագազուն խորութեան հարցը կարևոր չէր:

Այժմ Մեծ Սևանի մակարդակը բարձր նիշերի վրա պահելու անհրաժեշտություն պատճառով, այդ հարցը դառնում է առաջնահերթ, աստի հողավածում բերվում է այդ խնդրի մոտավոր լուծումը: Հաշիվները ցույց են տալիս, որ Սևանի խորությունը պետք է պահպանել ոչ պակաս 18—20 մ, այսպես նրա մակերևույթից զուրրչիացման քանակը անհամեմատ կմեծանա:

Լուծվում է (8) հավասարումը (8) սահմանային պայմանների դեպքում կուվումն ստացված է (10) տեսքով:

Վերջում բերված կորերը ցույց են տալիս, որ քրի ջերմաստիճանի տարեկան տատանումների ամպլիտուդան տարածվում է մինչև բավականաչափ մեծ խորություններ: Հողվածի վերջում տրվում է զուրրչիացման քանակի զեաճատակներ, հիմնվելով կղզում տեղավորված 20 թմ մակերես ունեցող զուրրչիացնող ջրավազանի տվյալների վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Давыдов В. А. Водные баалис озера Севян. М.—Л. 1938.