ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

XXX 1960 3

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

А. М. Мхитарян

К вопросу об определении испарения с поверхности озера Севан

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Х. Арутюняном 10. X 1959)

Вопрос определения испарения с поверхности оз. Севан очень важен, поскольку испарение является одной из основных статей расходной части его водного баланса. Вопрос этот приобретает особо важное значение сейчас. когда необходимо по-новому (1) решать Севанскую проблему, с целью пересмотра старой схемы использования вековых запасов вод озера и составления новой при сохранении его уровня на возможно высокой отметке, близкой к естественным условиям.

Особенно важным является вопрос составления водного баланса озера для того будущего уровня, на котором будет приостановлено дальнейшее его понижение. Среди других элементов водного баланса немаловажное значение имеет более точный расчет испарения для этого уровня. Точность расчета диктуется необходимостью проведения ряда водохозяйственных проработок, связанных с пересмотром старой схемы использования вод озера с учетом переброс стока смежных рек в озеро Севан, сооружения перерегулирующих водохранилищ, использования подземных вод Араратской котловины и других и правильным определением той активной отдачи озера, которая может быть с заданной обеспеченностью использована навечно в ирригационно-энергетических целях при сохранении Большого Севана.

Ведущиеся с 1956 г. большие работы по уточнению водного баланса и, в частности, испарения, подчинены этой цели. Работы эти должны быть обобщены в специальных сборниках. В настоящей статье кратко излагаются результаты расчета испарения с поверхности оз. Севан для современных условий.

В настоящее время хорошо известны следующие методы определения испарения с поверхности водоемов. Это—методы водного баланса, теплового баланса, береговых испарителей и турбулентной диффузии.

Сущность метода водного баланса заключается в том, что элементы этого баланса, кроме испарения, определяются на основании непосредственных измерений, а испарение определяется из уравнения водного баланса.

Сущность метода береговых испарителей заключается в том. что на основании данных береговых испарителей устанавливается зависи-

мость испарения от метеорологических факторов, а затем по этой зависимости определяется испарение с поверхности водоема с использованием значений метеорологических факторов, имеющих место на его акватории ([2]).

Наконец, испарение по методу теплового баланса определяется из уравнения этого баланса ([3]).

В этой статье излагается пример применения метода турбулентной диффузии для расчета испарения с поверхности озера Севан.

Если проинтегрировать по z уравнение турбулентной диффузии водяного пара в атмосферу в тонком приводном слое, то легко получить:

$$E = -\rho k \frac{\partial q}{\partial z} + \rho \int_0^z \frac{\partial q}{\partial t} dz + \rho \int_0^z u \frac{\partial q}{\partial x} dz - \rho \overline{w}(q_0 - q_z). \qquad (1)$$

Здесь: E — удельное испарение; ρ и q — плотность и удельная влажность воздуха; k—коэффициент турбулентного обмена; x—горизонтальная ось, направленная по скорости ветра; z—направлена вертикально вверх; t—время; u—скорость ветра; $\overline{w}$—средняя вертикальная скорость в указанном слое.

Если высота z небольшая, как это и имеет место в обычной метеорологической практике, то, как указано в ([3]), уравнение (1) упрощается и принимает следующий простой вид:

$$E = -\rho k \frac{\partial q}{\partial z}. \qquad (2)$$

Для определения коэффициента перемешивания (k) воспользуемся положениями полуэмпирической теории турбулентности, согласно которой этот коэффициент может быть представлен в следующем виде:

$$k = l^2 \frac{\partial u}{\partial z}, \qquad (3)$$

где: l—путь перемешивания, введенный Прандтлем.

$$l = \chi (z + z_0). \qquad (4)$$

Здесь: χ—постоянная Кармана, z_0—параметр шероховатости.

Полагая теперь касательное напряжение (τ) на стенке

$$\tau = \rho k \frac{\partial u}{\partial z} \qquad (5)$$

постоянным в тонком приводном слое, легко получить распределение скорости в этом слое, которое имеет вид:

$$u = u_2 \frac{\ln \frac{z + z_0}{z_0}}{\ln \frac{z_2 + z_0}{z_0}}. \qquad (6)$$

Тогда для k получается формула Россби, имеющая следующий вид:

$$\frac{k}{u} = \chi^2 \frac{z + z_0}{\ln \frac{z_2 + z_0}{z_0}}. \qquad (7)$$

Подставляя это значение в (2), получим

$$E = -0{,}622 \frac{\rho}{p} \frac{\chi^2 u_2 (z_2 + z_0)}{\frac{z_2 + z_0}{z_0}} \frac{\partial e}{\partial z}. \qquad (8)$$

Здесь мы воспользовались известной формулой для перехода от удельной влажности к упругости водяного пара (e).

Принимая поток водяного пара в атмосферу постоянным, $E =$ const, и интегрируя (8) в тонком приводном слое, получим

$$E = 0{,}622 \frac{\rho}{p} \frac{\chi^2 u_2}{\ln^2 \frac{z_2 + z_0}{z_0}} (e_0 - e_2). \qquad (9)$$

Здесь: e_2 и u_2 — упругость водяного пара и скорость ветра на высоте z_2; e_0 — упругость насыщения, определяемая по температуре поверхности воды.

Как показывает формула (9), для определения испарения с поверхности водоема по этому методу необходимо знать значения таких метеорологических элементов, как скорость ветра и упругость водяного пара на некоторой высоте над этой поверхностью, так и температуру поверхности воды, а также некоторые характеристики турбулентности, как, например, параметр шероховатости.

Отметим одно важное обстоятельство. Полученная формула применима лишь при равновесной стратификации атмосферы. Если разность температур вода—воздух значительна, то следует учесть влияние стратификации на развитие турбулентности, а, следовательно, и на испарение.

Перейдем теперь к определению метеорологических элементов, необходимых для расчета испарения с поверхности озера Севан.

1. Для изучения ряда вопросов гидрометеорологического режима оз. Севан и его бассейна были организованы специальные экспедиционные работы, которые проводились в 1956—59 гг.

В числе многих проводились градиентные наблюдения за скоростью ветра, температурой и влажностью воздуха и др. на прибрежных пунктах озера (остров, Норатус-Коса, Алучалу, Масрик, Дара, Бабаджан и т. д.), а также на его акватории.

Скорость ветра измерялась электроконтактными анемометрами на шести высотах, от 0,5 до 16 *м*. Влажность и температура воздуха измерялись на двух высотах. Наблюдения проводились в восемь или двенадцать сроков, каждое в течение часа.

Кроме того, были организованы специальные дополнительные наблюдения с мостков (Чкаловка, Мартуни, Цовак, Шоржа), а также на катере в центральных частях Малого и Большого Севана.

Далее, выбирались специально те случаи, когда ветер дует со стороны озера. Скорости ветра в этих случаях сгруппировывались по интервалам и осреднялись. Полученные результаты наносились на графики в полулогарифмической шкале (по оси абсцисс—скорость ветра, по оси ординат—логарифмы высот). Профили скорости, полученные таким образом, оказывались прямыми, что свидетельствует о применимости выведенных выше формул, т. е. в тонком приводном слое стратификация атмосферы близка к равновесной и турбулентность здесь развивается как в однородной среде.

Экстраполируя полученные прямые до пересечения с осью ординат ($u=0$), легко определялись значения параметра шероховатости z_0. Он оказывался зависящим от скорости ветра, причем с увеличением последней z_0 также увеличивается.

При скоростях ветра от 1 до 10 *м/сек* характерными для z_0 являются значения $10^{-5}-10^{-3}$ *м*.

Для средней скорости ветра на оз. Севан, порядка $3,3-3,5$ *м/сек*, получено $z_0=(1,5-2,0)\cdot10^{-4}$ *м*.

Подставляя это значение, а также $\rho=1,03\cdot10^3$ *г/м*^{3}, $p=0,81\cdot10^3$ *мб*, $\chi=0,40$ и (10) в (9) и, кроме того, умножая правую часть (9) на 86.4. чтобы получить испарение в *мм*/сутки, получим

$$E=0,133\ u_2(e_0-e_2). \qquad (10)$$

По этой формуле и будут вестись расчеты. Подчеркнем еще раз, что e_0 и e_2 берутся в *мб*, u_2 в *м/сек*, E получается в *мм*/сутки.

2. Для определения температуры поверхности воды и влажности воздуха были использованы данные наблюдений за 1951—58 гг., которые проводились у уреза острова Севан, на гидрологических станциях на акватории озера и прибрежных точках, числом 25. Недостающие данные восстанавливались по графикам связи между значениями элемента (температура или влажность) в точке и на острове. Графики строились по многолетним данным для каждого месяца в отдельности. Далее, каждой из указанных 25 точек приписывалась определенная площадь с учетом глубины и конфигурации берегов и на основании полученных величин в точках вычислялись средние взвешенные значения температуры поверхности воды и упругости водяного пара.

3. Вопрос определения скорости ветра над акваторией озера подлежит специальному рассмотрению. Здесь же он решен следующим образом.

Установлена связь между скоростями ветра на прибрежных станциях (остров, Норатус, Мартуни, Мазра и Шоржа) по флюгеру и на некоторых точках открытой части озера (остров-плот, Норатус—Коса—мостки, Мартуни-плот, устье р. Масрик и мостки в Шорже) на высоте 2 *м* по анемометру. При этом использовались также данные экспедиционных наблюдений на берегу и в центральных частях

Малого и Большого Севана. Скорость же по всему озеру определялась как среднее взвешенное по указанным пяти пунктам, причем веса определялись на основании экспедиционных наблюдений, о которых только что говорилось.

Полученные таким образом значения метеорологических элементов над акваторией озера приведены в табл. 1. Здесь же, в последней строке приведены результаты расчета испарения по формуле (10).

Таблица 1

Годовой ход температуры поверхности воды, упругости водяного пара, разности упругости паров, скорости ветра и испарения за 1951—58 гг.

м-цы / величины	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	за год
To °C	2,5	1,2	1,3	3,5	7,4	13.4	17,0	18,4	16.9	13.6	9.3	4,8	9.1
e_2 мб	3,70	3,76	4.62	6,33	8.20	11.43	13.70	13.80	11.20	7,77	6,05	4,90	8.00
$e_0 - e_2$	3,59	2,92	2,12	1,52	1,81	3,63	5,85	6,98	8,00	7,78	5,85	3,73	4,50
и м/сек	4,0	3,8	3,6	3,1	3,0	3,0	3,3	3,3	3,3	3,2	3,7	3,7	3,4
E *мм* / м-ц	64	44	33	20	19	44	79	96	103	100	88	65	755

Таким образом, среднее годовое испарение с поверхности озера Севан за 1951–58 гг. составляет 755 *мм/год*.

Эта величина была определена В. К. Давыдовым (4) за 1927—34 гг. Результаты для сравнения представлены на фиг. 1; они показывают следующее.

1. Наименьшее испарение за первый период (1927—34 гг.) приходилось на май месяц и равнялось 17 *мм*, в то время как во втором периоде (1951—58 гг.) оно имеет место уже в апреле и по величине несколько больше (19 *мм*). Таким образом, вследствие снижения уровня озера прогрев его вод начинается уже ранней весной и происходит интенсивнее, чем это имело место в естественных условиях. Кроме того, произошел сдвиг минимума испарения на 1 месяц. Этот вывод вполне согласуется с таковым об изменении годового хода температуры поверхности воды, которое и обусловило изменение разности упругости паров, поскольку влажность воздуха над озером почти не изменилась.

2. Если построить годовой ход испарения в среднем декадном разрезе, то легко усмотреть, что произошел сдвиг и максимального испарения. Этот сдвиг несколько меньше и равен 1—2 декадам, причем само максимальное значение меньше (на 33 *мм*). Ход кривой за вторую половину года значительно ровнее.

За май—июль кривые обоих периодов имеют качественно одинаковый ход, причем испарение за второй период в мае больше на 3 *мм*, в июне—на 10 *мм* и в июле—на 16 *мм*.

4. За август—декабрь испарение за первый период значительно больше, чем за второй. Здесь, во-первых, за счет снижения уровня озера его воды меньше накапливают тепла и быстрее охлаждаются, поэтому в холодные месяцы испарения действительно должно быть меньше; во-вторых, в эти месяцы сказывается влияние неустойчивости стратификации атмосферы, поскольку разность температур вода—воздух достигает значительных величин.

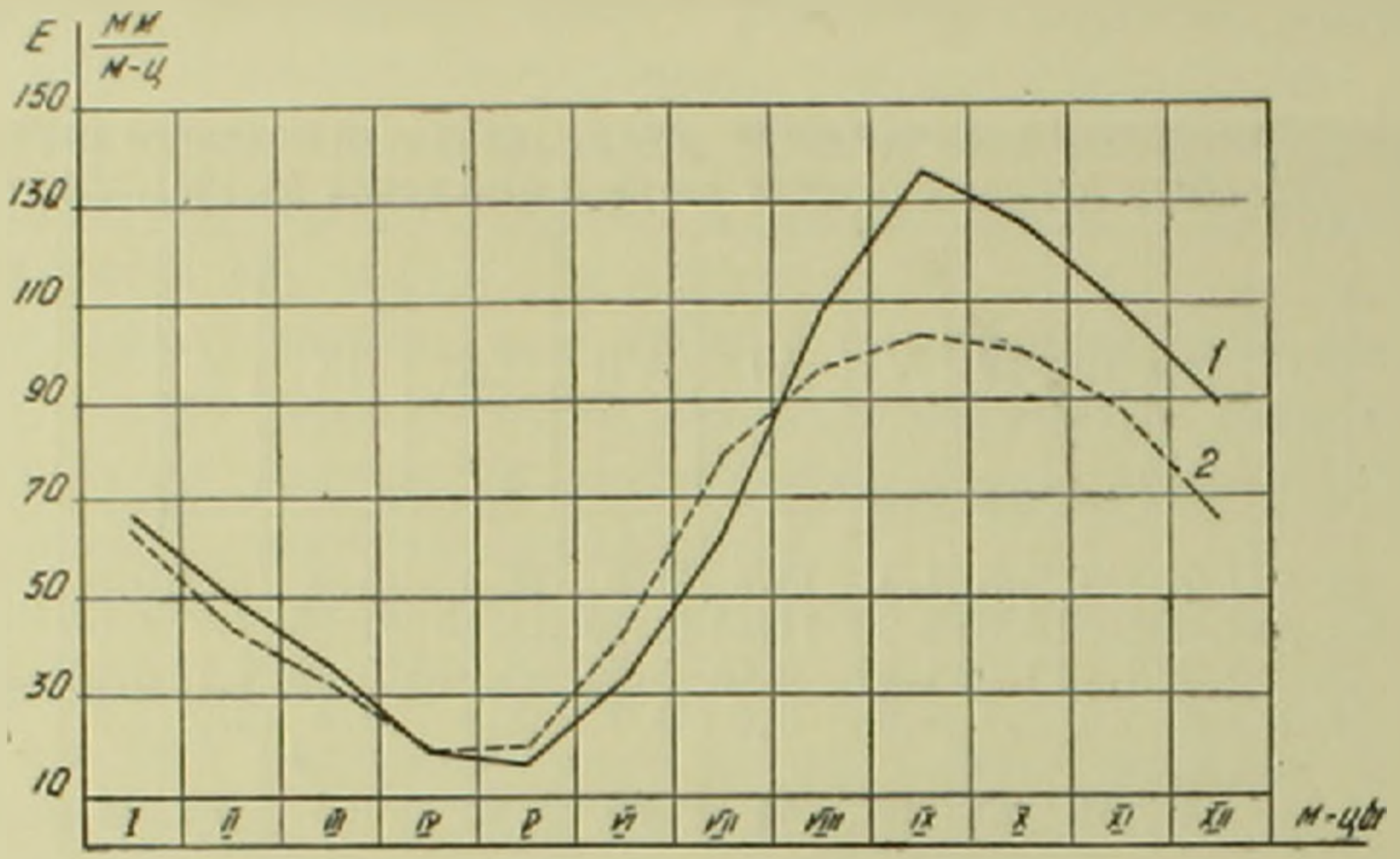

Рис 1. Годовой ход испарения, 1—по В. К. Давыдову за 1927—34 гг.; 2—по автору за 1951—58 гг.

5. Следует отметить, что в целом испарение, рассчитанное В. К. Давыдовым, завышено. Причиной тому, прежде всего, формула испарения, полученная на основании данных мелких испарителей, которая дает неверные результаты при скоростях ветра меньше 5 *м/сек.* Кроме того, как это стало ясно теперь, скорость ветра на акватории озера им была определена неверно.

6. Полученные результаты показывают, что метод турбулентной диффузии вполне применим для расчета испарения с поверхности оз. Севан.

Институт энергетики и гидравлики
Академии наук Армянской ССР

Ա. Մ. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ

Սևանա լճի մակերևույթից գոլորշիացման ուռուցման հարցի մասին

Հոդվածում ցույց է տրվում, որ մթնոլորտի բավականաչափ բարակ ջրամիրձ շերտում ջրի գոլորշիների տուրբուլենտ դիֆուզիայի հավասարումը կարելի է պարզեցնել՝ տալ նրան (2) անաքը։ Ներկայացնելով տուրբուլենտականության գործակիցը (3) տեսքով, (5) հավասարումից ստացվում է քամու արագության բաշխման (6) լոգարիթմական օրենքը։ Տեղադրելով (7) արտահայտությունը (2)-ի մեջ և ինտեգրելով այն վերը նշված ջրամերձ շերտում, հեշտությամբ ստացվում է (9) բանաձևը, որը և օգտագործվում է լճի մակերևույթից գոլորշիացումը հաշվելու համար, ընդ որում հաշվարկներ կատարելու համար անհրաժեշտ է իմանալ քամու արագությունը, ոդի խոնավությունը, ջրի ջերմաստիճանը և տուրբուլենտականությունը բնութագրող խորդուբորդության պարամետրը։

Սևանա լճի պայմանների համար բանաձևն ընդունում է (10) վերջնական տեսքը։

Հաշվարկների արդյունքները բերված են աղյուսակում և ներկայացված են գծ. 1-ի վրա։ Այստեղ ներկայացված են նաև Վ. Կ. Խավլիոմի կողմից ստացված արդյունքները։ Հոդվածի վերջում բերվում են հիմնական հետևությունները, ընդ որում ցույց է տրվում, որ տուրբուլենտ դիֆուզիայի մեթոդը կարելի է կիրառել Սևանա լճի ժակերևույթից գոլորշիացումը հաշվելու համար։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *А. К. Ананян*, Изв. АН АрмССР, сер. техн. наук, Т. X. № 5, 1957. [2] *А. П. Браславский* и *З. А. Викулина*, Нормы испарения с поверхности водохранилищ. Гидрометеоиздат, Л., 1954. [3] *М. П. Тимофеев*, Тепловой баланс водоемов и методы определения испарения. Сб. Современные проблемы метеорологии приземного слоя воздуха, Гидрометеоиздат, Л. 1958. [4] *В. К. Давыдов*, Водный баланс озера Севан. Материалы поисследованию оз. Севан и его бассейна, ч. VI, Л., 1938.