

ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7998855>

Ф.А.Гаппаров

*Профессор Национального исследовательского университета «ТИИИМСХ»,
доктор технических наук ,*

З.Х.Шербоев

Н.У.Сармонов

*ассистент Каршинского института ирригации и агротехнологий
НИУ «ТИИИМСХ»*

А.И.Абдиразаков

E-mail: snunodir@mail.ru

С незапамятных времен человек наблюдал испарение воды и, несомненно, размышлял над природой этого явления. В 1802 г. выход из печати труда Дальтона явился крупнейшим событием в развитии теории испарения. Он так объяснял полученные данные: "...испаряющая сила должна быть эквивалентна силе воды, уменьшенной соответственно на силу, существующую в атмосфере". Когда испаряющая сила одинакова, разная интенсивность испарения регулируется исключительно силой ветра". Из этих комментариев следует, что результат Дальтона в современных обозначениях можно записать так: [1]

$$E = f_{\bar{u}}(\bar{u})(\ell_s^* - \ell_a) \quad (1)$$

где E - интенсивность испарения;

ℓ_s^* - давление насыщенного водяного пара при температуре водной поверхности;

ℓ_a - давление пара в воздухе;

$f_{\bar{u}}(\bar{u})$ - функция средней скорости ветра $\bar{u}$.

Дальнейшим углублением проблемы была работа Вайленмана (Weilenmann, 1877 a,b).

Исследуя процессы в воздухе при его контакте с водной поверхностью, он выразил интенсивность испарения в виде линейной функции от средней скорости ветра $\bar{u}$. Однако, он оговаривал, что интенсивность испарения надо также считать пропорциональной дефициту насыщенного воздуха. С

помощью экспериментальных данных он проверил выполнение следующего уравнения:

$$E=(A_w+B_w\bar{U})(\ell_a^*-\ell_a) \quad (2)$$

где A_w и B_w – постоянные, ℓ_a^* – давление насыщенного пара при температуре воздуха.

Учитывая закон Дальтона (1), можно сказать, что использование дефицита насыщения в (2) равносильно утверждению того, что температура водной поверхности и воздуха одинаковы.

В какой-то степени Вайленман понимал эту ограниченность.

Наконец, Штеллинг смог решить проблему более точно. Объединяя уравнение функции ветра Вайленмана и уравнение Дальтона, он впервые получил выражение:

$$E=(A_s+B_s\bar{U})(\ell_a^*-\ell_a) \quad (3)$$

где A_s и B_s – эмпирические постоянные.

Используя данные измерений испарения, полученные при помощи испарителя Вильда, установленного на высоте 1 м над поверхностью в г. Нукусе, он получил, что $A_s=0,0702$ и $B_s = 0,00319$ при E , выраженном в миллиметрах за 2 ч, ℓ – в мм ртутного столба и $\bar{U}$ – в км в час.

Дальнейшему развитию теории испарения способствовали открытия в других областях знаний.

В настоящее время, для практической оценки испарения с водоемов предложены различные методы: уравнения водного баланса, методы теплового баланса и по эмпирическим формулам.

Единственным способом, позволяющим сразу получить интегральное значение испарения с водоема (без необходимости осреднения полей тех или иных элементов тепло - или влагообмена) является метод расчета испарения из уравнения водного баланса.

Этот метод можно применять при расчетах среднего многолетнего годового и месячного испарения с водохранилищ в тех случаях, когда абсолютные значения испарения сопоставимы с другими составляющими водного баланса. При расчетах за конкретные годы и тем более месяцы, использование этого метода ограничено, так как невозможно соблюдать главное условие его применения – надежность определения всех остальных элементов водного баланса, (подземный водообмен, конденсация, изменение запасов воды в водохранилище под влиянием хозяйственной деятельности).

Наиболее ясным и физически обоснованным методом определения

испарения является метод теплового баланса, который по своему существу представляет собой выражение закона сохранения энергии, поступающей на испаряющую поверхность. Расчет испарения с поверхности водохранилищ, особенно речного типа, осуществляют по следующей зависимости: [3].

$$E=0,615 \cdot 10^{-2} (R - \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_r) / (1,55 + \Delta t / \Delta \ell) \quad (4)$$

где R - радиационный баланс, Дж/см²;

ΔS_1 - изменение тепло запаса водной массы за расчетный интервал времени, Дж/см²;

ΔS_2 - разница между поступлением тепла с притоком воды в водохранилище и удалением тепла со стоком воды из него, Дж/см²;

ΔS_r - теплообмен с грунтом дна водоема, Дж/см²;

Δt - разность температуры воды и воздуха, °C;

$\Delta \ell = (\ell_0 - \ell_2)$ - разность парциального давления водяного пара у поверхности воды и на высоте 2 м над ней, гПа.

Для выполнения расчетов по уравнению (4) достаточно располагать стандартной сетевой гидрометеорологической информацией и данными о радиационном балансе водной поверхности. Исследование А.П.Браславского показали [5], что разница между радиационным балансом суши и прилегающей водной поверхности для месяцев теплового периода не превышает 5%, т.е. использование данных по радиационному балансу суши не может привести к существующим погрешностям при расчете по зависимости (4).

Определение испарения методом теплового баланса даёт нам основание утверждать, что этот метод не может служить эталоном повсеместно; он применим в весьма ограниченном диапазоне метеорологических условий; метод отличается значительной трудоёмкостью использования. Поэтому он не может быть рекомендован для широкого использования при производстве практических расчетов с использованием данных сетевых наблюдений. Однако, как показано во многих экспериментальных работах, Н.Н.Грибанова [4], Бурмана Э.А. и Г.И.Прелета [6,7], Романова В.В. [29] и др., определение испарения методом теплового баланса вполне применимо в научно-исследовательских целях.

Для расчета испарения с водной поверхности широко распространены как в нашей стране, так и за рубежом эмпирические формулы. В подавляющем большинстве случаев они довольно просты и что самое главное, основаны на использовании стандартной гидрометеорологической информации. Наибольшее распространение в этом направлении

исследований получили разработки эмпирических формул вида

$$E=(\ell_0-\ell_{200})(A+BW_{200}) \quad (5)$$

В результате этих разработок были получены формулы В.К.Давыдова [8] , Б.Д.Зайкова [9] , А.П.Браславского и З.А.Викулиной [10], М.С.Каганера [11], Н.С.Орловского [12], В.Н.Рейзвиха и А.Б.Поповой [13], В.К.Гвахария [14] , В.И.Лаптева и В.П.Молчанова [16] и ряда других авторов.

За рубежом используют формулы Хортоно Р.Е. [17] , Миллера Ф. [18] , Пенмана Х.Л. [19,20] , Торнтвейта С. [21] и др.

Формула Б.Д.Зайкова [9]

$$E=0,2n (\ell_0-\ell_{200}) (1+0,85W_{100}) \quad (6)$$

где E - слой испарения за месяц в мм;

n - число дней в месяце;

ℓ_0 - средняя месячная упругость насыщенного водяного пара, рассчитанная по температуре поверхности воды, в мм;

ℓ_{200} - упругость водяного пара в воздухе на высоте 200 см от поверхности воды, в мм

W_{100} - средняя месячная скорость ветра на высоте 100 см, в м/сек;

Если ℓ_0 и ℓ_{200} выражены в мб, то множитель перед скобкой равен 0,15 и скорость ветра берется на высоте 200 см, то коэффициент у скорости ветра равен 0,72. Тогда формула (6) преобразуется:

$$E=0,15 n (\ell_0-\ell_{200}) (1+0,72W_{200}) \quad (7)$$

По формуле (7) испарение рассчитывается для водоемов больших размеров. При расчетах испарения с малых водоемов формула Б.Д.Зайкова (6) примет вид:

$$E=0,2nC D_{200}^{0,78} (1+0,85W_{100}) \quad (8)$$

C - параметр, выражающий в скрытом виде соотношение между температурой поверхности воды малого водоема и температурой воздуха;

D - дефицит влажности воздуха в миллибарах.

Формула А.П.Браславского и З.А.Викулиной:

$$E=0,13n (\ell_0-\ell_{200}) (1+0,72W_{200}) \text{ мм/мес} \quad (1.9)$$

где E - месячная сумма испарения в мм;

n - число дней месяца;

ℓ_0 - максимальная упругость пара, определенная по температуре воды, в мм;

ℓ_{200} - абсолютная влажность воздуха на высоте 200 см над водной поверхностью;

W_{200} - скорость ветра на высоте 200 см над водоемом в м/сек.

В конце 60-х годов В.И.Кузнецов, В.С.Голубев и Т.Г.Федорова предложили формулу для расчета среднемесячного испарения с водной поверхности, вошедшую затем в указания [22]:

$$E=0,14 n (\ell_0-\ell_{200}) (1 + 0,72U_{200}) \quad (10)$$

E - слой испарения за месяц в мм;

n - число суток в расчетном времени;

ℓ_0 - среднее значение максимальной упругости водяного пара, вычисленное по температуре поверхности воды в водоеме, в мб;

ℓ_{200} - среднее значение упругости водяного пара (абсолютной влажности воздуха) над водоемом на высоте 200 см, в мб;

U_{200} - среднее значение скорости ветра над водоемом на высоте 200 см, в м/сек.

Данную формулу рекомендовано применять при равновесной стратификации, когда разность значений температуры воды и воздуха составляет 2-4 °С.

При неравновесной стратификации атмосферы над водоемом расчетные формулы предложены В.А.Рымшей и Р.В.Довченко [23], А.П.Браславским и С.Н.Нургалиевым [24] и В.П.Кожевниковым [25] и др.

Структура формулы, предложенной Рымшей и Довченко, следующая:

$$E=0,104n (\ell_0-\ell_2) (K_{\Delta t}+W_2) \quad (11)$$

где

$K_{\Delta t}$ - коэффициент, зависящий от разности температуры поверхности воды и воздуха.

Формула Браславского и Нургалиева имеет следующий вид:

$$E=0,14(\ell_0-\ell_2)[1+0,8W_2+Y(\Delta t)] \quad (12)$$

Формула (12) не пригодна для расчета испарения по месячным интервалам времени. Она, как правило, завышает значение испарения, особенно, при неустойчивой стратификации атмосферы.

В работе В.П.Кожевникова [25], было показано, что коэффициенты A и B в формулах этого вида не остаются постоянными, а изменяются в зависимости от шероховатости подстилающей поверхности суши в зоне расположения испарителей, по которым получены эти формулы.

Для территории Средней Азии разработка региональных формул была выполнена в работах Б.Е.Милькиса [26], Н.С.Орловского [12], В.Н.Рейзвиха и А.Б.Поповой [13], Н.Е.Горелкина и А.М.Никитина [27].

В заключении можно сказать, что всё увеличивающаяся площадь зеркала водохранилищ привела к значительному увеличению потерь воды на

испарение, что привело к необходимости изучения этого вопроса и определения величины безвозвратных потерь воды из водохранилищ.

Следует отметить, что надежность расчетов по всем указанным эмпирическим формулам значительно зависит от надежности определения входящих в них элементов. Все элементы, входящие в эти расчетные формулы, должны быть определены для водной поверхности. Вследствие того, что в большинстве случаев такая информация отсутствует, при выполнении массовых расчетов по указанным формулам приходится использовать данные о метеоэлементах, полученные на континентальных станциях, с последующим пересчетом этих данных на водоем.

Такие исследования выполняются нами в настоящее время относительно водоемов Кашкадарьинской области, в частности для Чимкурганского и Талимарджанского водохранилищ, используя метеоданные за несколько лет наблюдений и были получены соответствующие результаты расчетов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Братсерт У.Х. Испарение в атмосферу. Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 352 с.
2. Константинов А.Р. Испарение в природе. Л.: Гидрометеиздат. – 1968. – 532 с.
3. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.
4. Романова В.В. Определение испарения с осушенных болот методом теплового баланса. // Материалы конференции по агрометеорологии и агроклиматологии Украинской ССР. Л.: Гидрометеиздат. 1958.
5. Браславский А.П. Исследования и расчеты гидрологического режима озер и водохранилищ. – Алма-Ата, 1969. – 254 с.
6. Бурман Э.А., Перелета Г.И. О некоторых особенностях испарения с различных подстилающих поверхностей. // Метеорология и гидрология, 1954. – № 5.
7. Бурман Э.А. и Перелета Г.И. О методике определения испарения. // Труды ОГМИ, – Киев: Изд-во Гос. ун-та им. Т.Г. Шевченко, 1955. Вып. 7.
8. Давыдов В.К. О коэффициентах редукции для плавучих испарителей. // - Труды ГГИ. – 1938. Вып. 7. – С. 44-51.

9.Зайков Б.Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР. // - Труды ГГИ. - 1949.- Вып.21(76). - 54 с.

10.Браславский А.П., Викулина З.А. Нормы испарения с поверхности водохранилищ.-Л.: Гидрометеиздат, 1954. - 212 с.

11.Каганер М.С. Испарение с водной поверхности днепровских водохранилищ. // - Труды УкрНИГМИ. - 1960. Вып.24. - С. 3-14.

12.Орловский Н.С. расчету испарения с водной поверхности в условиях Туркмении. //- Водохозяйственные исследования в Туркменистане. - Ашхабад: "Ылым", 1977. - С.163-168.

13.Рейзвих В.Н., Попова А.Б. Испарение с водной поверхности в условиях Средней Азии. // - Труды САРНИГМИ. - 1972. - Вып.62(77). - С. 54-57.

14.Гвахария В.К. Испарение с водоемов Кавказа.// Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, Л.: Гидрометеиздат, 1976,- Т.6 - С. 237-243.

15.Сафарова А.М. Испарение с водной поверхности в условиях Армянской ССР. - Метеорология и гидрология, 1976, № 6. - С. 77-81.

16.Лаптев В.И., Молчанов В.П. О расчете испарения с водной поверхности в горных районах. //- Вестн. Моск. ун-та. сер.V. № 3 - 1972. - С. 113-115.

17.Horton R. E. Water losses in high latitudes and at high elevation. - Amer. Geoph, Union Trans, 1934, Vol. 15, p. 553-566.

18.Millar F.G. Evaporation from free water surfaces. - Canad. Mem., 1937, Vol. 1, № 2.

19.Penman H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. - Proc. Roy. Soc., London, 1948, 193, p. 120-146.

20.Penman H.L. Evaporation: An introduction survey - Netherland J.Argic. Sci, 1956, № 4, p. 9-29.

21.Thornthwaite C.W., Holzman B. The determination of evaporation from land and water surfaces. - Monthiy Weath. Rev., 1939, 67. P. 4-11.

22.Указания по расчету испарения с поверхности водоемов.-Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 84 с.

23. Zhuraevich B. S. et al. USE OF MINERALIZED WATERS FOR IRRIGATION OF THE TERRITORY OF UZBEKISTAN //Galaxy International Interdisciplinary Research Journal. - 2021. - Т. 9. - №. 10. - С. 717-723.

24. Gapparov F. A. et al. SUV OMBORYUZASIDAN SUVNING BUG'LANISHI NATIJASIDA SUV YO'QOTILISH USULLARINI //PEDAGOGS jurnali. - 2022. - Т. 11. - №. 1. - С. 13-16.

25. Nodirbek O'tkir o'g S. et al. QARSHI BOSH KANALIDAGIN 6-NASOS STANSIYASINING EKSPLOATATSION HOLATI VA ENERGIYA SARFI //World scientific research journal. – 2022. – T. 9. – №. 1. – C. 192-196.

26. Nodirbek O'tkir o'g S. et al. BOSIM QUVURINI GIDRAVLIK ZARBANI SO'NDIRISH HISOBI //Новости образования: исследование в XXI веке. – 2022. – T. 1. – №. 4. – C. 134-138.

27. Joxon Toshpo'lat o'g F. et al. AMU-QASHQADARYO ITHBDA ISHLATILAYOTGAN NASOS STANSIYALARINING IQLIM KO'RSATKICHLARINI TADQIQOTI //Journal of new century innovations. – 2022. – T. 14. – №. 1. – C. 161-164.

28. Nodirbek O'tkir o'g S. et al. TALIMARJON VA HISORAK SUV OMBORLARIDAGI BUG'LANISHLARNING FARQI //Journal of new century innovations. – 2023. – T. 28. – №. 3. – C. 120-125.

29. <https://bestpublication.org/index.php/jaj/article/view/5520>

30. <http://farspublishers.org/index.php/ijessh/article/view/1121>