

**ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЁТЫ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
НА ТЕРРИТОРИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИМЕНИ  
В.А. МИХЕЛЬСОНА**

*П.С. Ильин<sup>1</sup>, И.А. Кузнецов<sup>1</sup>, А.Б. Кавалли<sup>1</sup>, П.С. Васильева<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, p.ilyin@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** по результатам измерений на испарителе ГГИ-3000, установленного на территории метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, подобраны параметры формулы Росгидромета для расчёта испарения с водной поверхности.*

***Ключевые слова:** испарение, ГГИ-3000, метеорологическая обсерватория, водная поверхность,*

**Актуальность.** Среди измеряемых элементов водного баланса водосборов наименее точно определяются испарения с суши и с водной поверхности. К сожалению, в последнее десятилетие количество воднобалансовых станций и метеостанций с установками стандартных испарителей ГГИ-3000 существенно уменьшилось [1]. Однако, в рамках территории обсерватории имени Михельсона в 2023 году был установлен дополнительно такой испаритель. С помощью измерений по нему можно уточнять коэффициенты стандартной формулы Росгидромета [2, 3, 4], на основе которой имеется возможность рассчитывать и прогнозировать величины слоя и объёма испарения на ближайших водных объектах, что позволит более точно прогнозировать их уровни и глубины и уточнять экологические показатели водной среды. Таким образом, цель работы - уточнение коэффициентов формулы Росгидромета для определения слоя испарения с водных объектов, находящихся в районе Тимирязевской академии и её ближайшего окружения. Соответственно, были поставлены следующие задачи:

- организация и проведение хронологических измерений на испарителе ГГИ-3000;
- определение необходимых зависимостей между метеорологическими элементами;
- подбор эмпирических коэффициентов расчётной формулы Росгидромета относительно территории Тимирязевской академии и ближайшего её окружения.

**Материалы и методы.** Измерения проводились в соответствии с требованиями к измерениям испарения с водной поверхности [5, 6, 8].

Испаритель ГГИ 3000 представляет собой цилиндрический бак с конусообразным дном, он был установлен нормально к поверхности земли на площадке обсерватории имени В.А. Михельсона на открытой местности (рис. 1). Была предусмотрена защита от ветра посадками деревьев с западной стороны на расстоянии 20-30 метров.



**Рис. 1. Испаритель ГГИ-3000 на площадке Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона**

В центре бака имеется металлическая реперная трубка, на которую при измерениях устанавливается объёмная бюретка. Площадь поперечного сечения испарителя равна  $3000 \text{ см}^2$ . Бюретка представляет собой цилиндрический стакан высотой 60 мм и площадью поперечного сечения  $20 \text{ см}^2$ . У верхнего края бюретки со стороны полукрышки имеется сливной носик-трубка, через которую при измерениях переливают воду в измерительную колбу.

**Обсуждение результатов.** Измерения по испарителю проводились в 8 и 20 часов. Измерения характеристик погоды между этими сроками выполнялись по установленным срокам для метеостанций в 9, 12, 15 и 18 часов, при этом измерялась и температура воды в испарителе с помощью психрометрического термометра. Для расчётов испарения с водной поверхности в случаях, когда невозможно получить измеренную температуру водной поверхности, которая необходима для определения влажности полностью насыщенного воздуха ( $e_0$ ) при температуре испаряющей поверхности, определялись параметры регрессионного уравнения, связывающего температуру воздуха в психрометрической будке (на высоте 2м) и температуру воды, измеренную в испарителе. Полученный график связи представлен на рисунке 2, где коэффициент корреляции оказался равным 0,94.

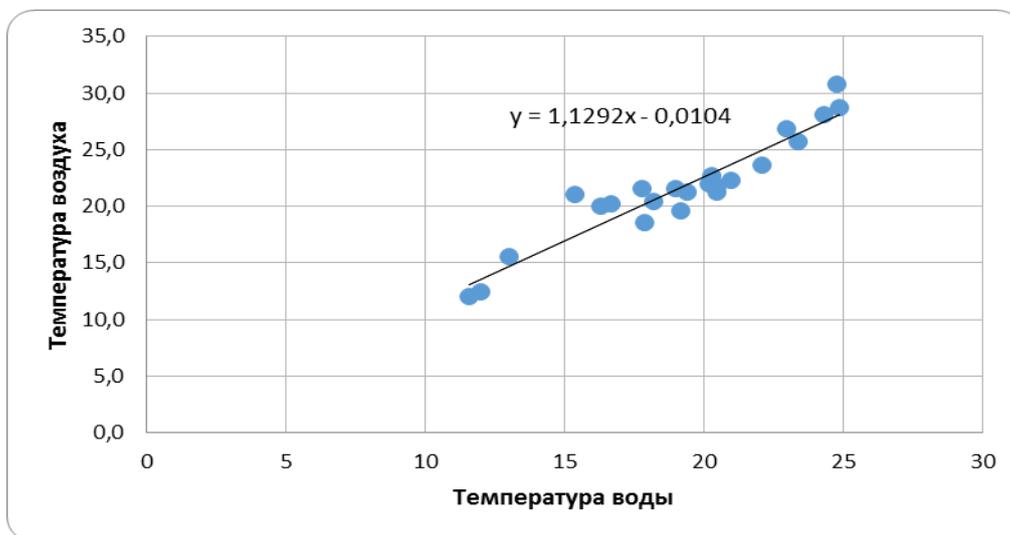


Рис. 2. График связи температуры воды и температуры воздуха

Формула Росгидромета [2,3,4] для оценки испарения с водной поверхности ( $E$ , мм) имеет следующий вид:

$$E = An (e_0 - e_{200}) (1 + Bu_{200}) \quad (1)$$

где:  $e_0$  – среднее значение максимальной упругости водяного пара при температуре воды, гПа;

$e_{200}$  – средняя упругость водяного пара на высоте 2 м (в стандартной психрометрической будке);

$n$  – число дней в расчетном периоде;

$u_{200}$  – средняя скорость ветра над водоемом на высоте 2 м.

$A$  и  $B$  – эмпирические коэффициенты.

В большинстве случаев формула (1) имеет в качестве эмпирических коэффициентов  $A=0,14$  и  $B=0,72$  [4]. Тем не менее, как правило при установке прибора они уточняются, в ряде случаев они различны для конкретных регионов. В данном случае формула 1 проверялась относительно проведенных измерений испарения с водной поверхности с помощью испарителя ГГИ3000, который имеет достаточно точные переходные коэффициенты по отношению к принятому за эталонный испарительный бассейн площадью  $20 \text{ м}^2$  [2, 4, 7].

Измерения проводились исключительно в дни без осадков с целью более точного установления эмпирических коэффициентов формулы 1. При этом определялись необходимые для расчёта характеристики погоды, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики погоды в дни наблюдений

Дата	Температура воздуха	$e_0$ (гПа)	$e_{200}$ (гПа)	$u_{200}$
14.04.2023	6,8	10,4	3,24	4,2
17.04.2023	13,4	14,7	4,9	1,4
18.04.2023	12,9	14,3	7,8	1,4
19.04.2023	14,9	15,9	6	2,1
20.04.2023	15,9	16,8	5,9	2,1
21.04.2023	14,9	15,9	5,3	2,1
22.04.2023	14,5	15,6	6,4	1,4
24.04.2023	19,6	20,2	6,5	2,1
14.05.2023	12,4	13,9	9,4	1,4
15.05.2023	20	18,6	8,5	1,4
16.05.2023	20,2	19,1	8	2,8
29.05.2023	21,3	22,6	9	1,4
30.05.2023	22	23,7	9,2	0,7
09.06.2023	15,6	15	12,3	2,8
15.06.2023	21,8	24,5	10,7	2,1
16.06.2023	26,9	28,2	12,2	2,1
28.06.2023	18,6	20,8	13,7	2,1
03.07.2023	23,6	26,7	14,8	2,8
05.07.2023	22,3	25,4	16,8	2,1
06.08.2023	30,8	31,4	21,9	2,1

Результаты по формуле (1) были получены при различных сочетаниях коэффициентов А и В. Они сравнивались с измеренными значениями, которые принимались истинными. Окончательно коэффициенты были выбраны на основе метода наименьших квадратов: А= 0,14, В=0,71.

Таким образом была получена следующая формула с коэффициентами:

$$E = 0,14n (e_0 - e_{200}) (1+0,71u_{200}) \quad (2)$$

Окончательные принятые результаты расчёта по новой формуле представлены в таблице 2.

Таблица 2

Расчёт испарения по срокам наблюдений

Дата	Е набл	Температура воздуха	Температура воды в испарителе	Е по формуле
14.04.2023	4	6,8	7,5	3,99
17.04.2023	5	13,4	12,7	2,74
18.04.2023	2,4	12,9	12,3	1,81

19.04.2023	3,6	14,9	13,9	3,45
20.04.2023	4	15,9	14,7	3,80
21.04.2023	4	14,9	13,9	3,70
22.04.2023	3,6	14,5	13,6	2,57
24.04.2023	4	19,6	17,6	4,78
14.05.2023	2	12,4	12	1,26
15.05.2023	4	20	16,3	2,82
16.05.2023	4	20,2	16,7	4,64
29.05.2023	2,8	21,3	19,4	3,80
30.05.2023	4	22	20,2	3,04
09.06.2023	0,9	15,6	13	1,13
15.06.2023	3,8	21,8	20,5	4,81
16.06.2023	3,8	26,9	23	5,58
28.06.2023	5,8	18,6	17,9	2,48
03.07.2023	4	23,6	22,1	4,98
05.07.2023	2,4	22,3	21	3,00
06.08.2023	3,4	30,8	24,8	3,31

Уменьшение на 0,01 коэффициента В по сравнению с традиционным  $V=0,72$  по всей видимости обусловлено достаточно высокими деревьями в западной части метеоплощадки, которые препятствуют традиционно преобладающему западному переносу воздушных масс, и тем самым уменьшают ветровое воздействие на турбулентную составляющую испарения с водной поверхности.

**Заключение.** В итоге работы был получен ряд данных по испарению с водной поверхности и были уточнены эмпирические коэффициенты для стандартной формулы Росгидромета для условий метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона и окружающей территории. Такие результаты помогут более точно оценивать потери воды из окружающих водных объектов и испаряемость относительно опытных полей Тимирязевской академии.

### Библиографический список

1. Многолетние изменения испарения на Европейской территории России по данным водноиспарительной сети. Научно-прикладной справочник под редакцией В.С. Вуглинского. СПб.: ООО "РИАЛ", 2021. - 64 с.

2. Голубев В. С., Урываев А. П. Метод водных испарителей и его применение для расчета испарения с поверхности водоемов // Труды ГГИ. - 1983. - Вып. 289. - С. 69–76.

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

4. Вуглинский В. С., Албул И. П. Методика расчета испарения с водной поверхности по данным наземного испарителя ГГИ // Вестник СПбГУ. - 2016. - Серия 7. Геология. География, Вып. 3. - С. 118-127.

5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 7, Часть II. Наблюдения за испарением с водной поверхности. - Л.: Гидрометеоздат, 1985. - 104 с.

6. Руководство по Глобальной системе наблюдений ВМО-№ 488. Женева. Издание 3. 460 с.

7. Кузнецов В.И. Методика расчета испарения с бассейнов площадью 20 м<sup>2</sup> по наблюдениям в испарителе ГГИ-3000 // Труды ГГИ. - 1971. - Вып. 181. - С. 3-33.

8. World Meteorological Organization, 1997: Estimation of Areal Evapotranspiration. Technical Reports in Hydrology and Water Resources No. 56, WMO/TD-No. 785, Geneva.

## **MEASUREMENTS AND CALCULATIONS OF EVAPORATION FROM THE WATER SURFACE ON THE TERRITORY OF THE METEOROLOGICAL OBSERVATORY NAMED AFTER V.A. MIKHELSON**

P.S. Ilyin, I.A. Kuznetsov, A.B. Kavalli, P.S. Vasilieva

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, [p.ilyin@rgau-msha.ru](mailto:p.ilyin@rgau-msha.ru)

*Summaru: based on the results of measurements on the GGI-3000 evaporator installed on the territory of the meteorological observatory named after V.A. Mikhelson selected the parameters of the Roshydromet formula for calculating evaporation from the water surface.*

*Keywords: evaporation, GGI-3000, meteorological observatory, water surface*