

**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.

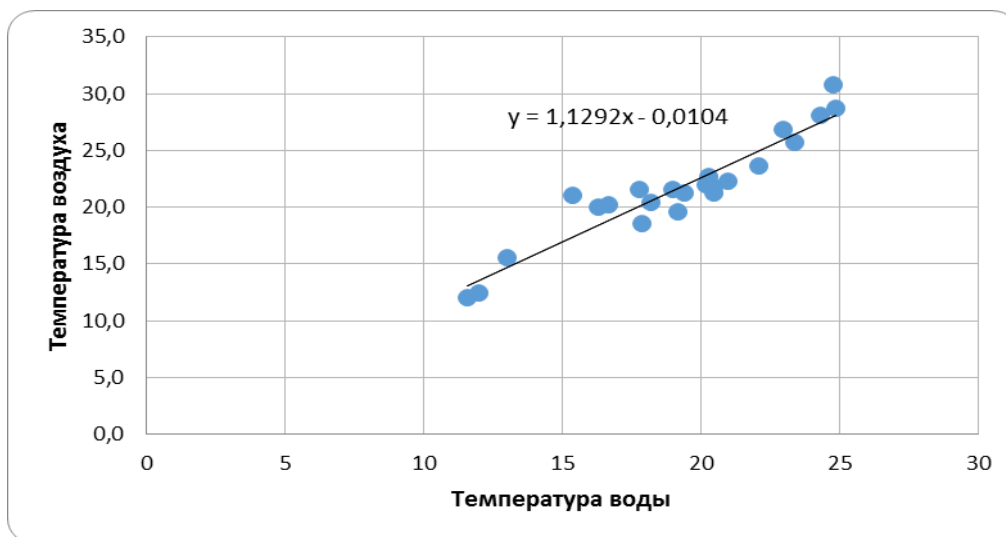


Рис. 2. График связи температуры воды и температуры воздуха

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 проведённых 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*