

IMPROVEMENTS OF MEASUREMENT ACCURACY IN MICROMETEOROLOGY BY MEANS OF THE USE OF FACTOR ANALYSIS

Tovmach Yr.

State Hydrological Institute

23 Second Line, 199053 St. Petersburg, Russian Federation

Telephone (812) 323 1167, Fax (812) 323 1167, E-mail : TOVMACHYV@MAIL.RU

Abstract

The Valdai branch of the State Hydrological Institute (GGI) is a proving ground where they do a great deal of hydro-meteorological observation, measuring a great number of hydro-meteorological parameters comparing readings of various hydro-meteorological measuring devices and observation methods.

All the measurements are done on a comparatively small site which makes it possible to regard them as received in specific micrometeorological conditions. So, it's only natural that there exists a certain co-ordination among the meteorological parameters under observation which can be clearly seen and well studied. However, it is not always so.

In this paper, the author describes the results of the factor analysis he conducted over the parameters whose ties are not so obvious and not always readily understandable. He divided all the hydro-meteorological parameters with clearly seen ties into separate groups, which allowed him to construct micrometeorological models of the natural phenomena taking place on the Valdai Hills. In the process of constructing such micrometeorological models, the author established functional ties between the parameters. On the basis of the revealed functional ties, he created functional factors depending on errors of the measured values. By minimizing the functional factors based on the total error, he achieved minimization of error of the results of separate observations.

Резюме

На Валдайском филиале ГГИ (GGI) проводится большое количество гидрометеорологических наблюдений, измеряется множество параметров. Валдайский филиал является полигоном, на котором по линии ВМО (WMO) проводится сравнение различных гидрометеорологических приборов и методов наблюдения.

Все измерения проводятся на сравнительно небольшой площади, что позволяет говорить о микрометеорологических наблюдениях различных гидрометеорологических величин. Понятно, что существует связь между полученными метеорологическими параметрами. Чаще всего такая связь очевидна и хорошо изучена.

В работе проведен факторный анализ параметров, связь между которыми не очевидна и не всегда понятна. В результате все гидрометеорологические параметры разбиваются на группы, в которых существует связь. Выявленные связи позволяют построить микрометеорологические модели природных явлений происходящих на Валдайской возвышенности. В ходе построения микрометеорологических моделей устанавливается функциональная связь между параметрами. С помощью полученных функциональных связей строятся функционалы, зависящее от погрешности измеряемых величин. Минимизируя функционалы по совокупной погрешности удается уменьшить погрешность результатов отдельных наблюдений.

Введение

На Валдайском филиале ГГИ (GGI) проводится большое количество гидрометеорологических наблюдений, измеряется множество параметров. Валдайский филиал является полигоном, на котором по линии ВМО (WMO) проводится сравнение различных гидрометеорологических приборов и методов наблюдения.

Валдайский филиал ГГИ (GGI) расположен на территории Валдайского заповедника, площадь которого насчитывает несколько десятков квадратных километров. На территории филиала существует четыре измерительных полигона. Это континентальный полигон, береговой, озерный, расположенный на плоту в Валдайском озере и методический на котором апробируются новые методы и средства измерения. На каждом из полигонов расположены две площадки: испарительная и осадкомерная. Учитывая, что испарение с водной поверхности является одним из основных членов уравнения водного баланса, с использованием которого ведутся все основные гидрологические расчеты, оценка погрешности измерения испарения является важной методологической и метрологической задачей. Поэтому для рассмотрения взяты данные с испарительной площадки расположенной на береговом полигоне. На площадке присутствуют 20м² испарительный бассейн, три испаромера ГГИ-3000, различное оборудование для измерения температуры скорости ветра, влажности, упругости водяного пара и многих других параметров. Все анализируемые параметры приведены в следующей таблице.

Таблица

t	Обозначение	Измеряемый параметр	Размерность
t ₁	bs20-evp	Уровень испарившейся воды с 20м ² бассейна	E, mm
t ₂	bs20-wtm	Температура воды в 20м ² бассейне	t-0 °C
t ₃	bs20-etw	Упругость водяного пара по температуре воды для 20м ² бассейна	e-0
t ₄	bs20-dtw	Разность между упругостью насыщения и абсолютной влажностью воздуха на высоте 2 м для 20м ² бассейна	e0 - e200
t ₅	bas5-evp	Уровень испарившейся воды с 5м ² бассейна	E, mm
t ₆	bas5-wtm	Температура воды в 5м ² бассейне	t-0 °C
t ₇	bas5-etw	Упругость водяного пара по температуре воды для 5м ² бассейна	e-0
t ₈	bas5-dtw	Разность между упругостью насыщения и абсолютной влажностью воздуха на высоте 2 м для 5м ² бассейна	e0 - e200
t ₉	bas3-evp	Уровень испарившейся воды с 3м ² бассейна	E, mm
t ₁₀	bas3-wtm	Температура воды в 3м ² бассейне	t-0 °C
t ₁₁	bas3-etw	Упругость водяного пара по температуре воды для 3м ² бассейна	e-0
t ₁₂	bas3-dtw	Разность между упругостью насыщения и абсолютной влажностью воздуха на высоте 2 м для 3м ² бассейна	e0 - e200
t ₁₃	p031-evp	Уровень испарившейся воды в ГГИ-3000-1	E, mm
t ₁₄	p031-wtm	Температура воды в ГГИ-3000-1	t-0 °C
t ₁₅	p031-etw	Упругость водяного пара по температуре воды для ГГИ-3000-1	e-0
t ₁₆	p031-dtw	Разность между упругостью насыщения и абсолютной влажностью воздуха на высоте 2 м для ГГИ-3000-1	e0 - e200
t ₁₇	p032-evp	Уровень испарившейся воды в ГГИ-3000-2	E, mm
t ₁₈	p032-wtm	Температура воды в ГГИ-3000-2	t-0 °C
t ₁₉	p032-etw	Упругость водяного пара по температуре воды для ГГИ-3000-2	e-0
t ₂₀	p032-dtw	Разность между упругостью насыщения и абсолютной влажностью воздуха на высоте 2 м для ГГИ-3000-2	e0 - e200
t ₂₁	p033-evp	Уровень испарившейся воды в ГГИ-3000-3	E, mm
t ₂₂	p033-wtm	Температура воды в ГГИ-3000-3	t-0 °C
t ₂₃	p033-etw	Упругость водяного пара по температуре воды для ГГИ-3000-3	e-0
t ₂₄	p033-dtw	Разность между упругостью насыщения и абсолютной влажностью воздуха на высоте 2 м для ГГИ-3000-3	e0 - e200
t ₂₅	atmt-atm	Температура воздуха на высоте 2м	t возд. °C
t ₂₆	atme-ea2	Влажность воздуха абсолютная на высота 2м	e-200
t ₂₇	wnd2-wd2	Скорость ветра высота 2м	U-200 м/с
t ₂₈	prcp-prc	Осадки по испаромеру	Осадки, mm
t ₂₉	rele-rie	Относ. влажность воздуха на высоте 2м	f,%
t ₃₀	defe-def	Дефицит влажности воздуха на высоте 2м	Def
t ₃₁	gt20-gtm	Температура почвы на глубине 20см	t почвы °C
t ₃₂	magnus	Величина упругости насыщения при данной температуре, вычисленная по формуле Магнуса	e-0
t ₃₃	e-max2	Величина упругости насыщения при данной температуре, полученная по психометрическим таблицам	e-0
t ₃₄	def1	Дефицит влажности воздуха по формуле Магнуса	e-0
t ₃₅	def2	Дефицит влажности воздуха по психометрическим таблицам	e-0
t ₃₆	date	Количество дней до/после летнего солнцестояния	дн.

Единственное исключение составляет параметр, связанный с максимальной высотой солнца над горизонтом и продолжительностью светового дня. Доказано [1], что погрешность измерения испарения зависит от этих параметров. Нами для удобства и более точного учёта влияния этих факторов вводится следующий параметр – число дней от дня летнего солнцестояния. Например, 23 апреля и 23 августа продолжительность дня и максимальная высота солнца над горизонтом одинаковы. Но с точки зрения испарения они различны.

Описание физико-математической модели

В качестве исходных данных для построения физико-математической модели использовались данные, полученные на Валдайском полигоне ГГИ, начиная с 1968 года. На валдайском полигоне расположены три измерительных площадки: береговая, континентальная и водная (на плоту Валдайского озера). На всех этих площадках находится 20м² испаромерный бассейн и ГГИ-3000. Наиболее полно укомплектована береговая площадка, причем наблюдения на этой площадке практически никогда не прерывались. Поэтому данные, полученные с этой площадки, использовались как базовые для построения модели. Береговая площадка укомплектована 20м², 5м² и 3м² испаромерными бассейнами. Кроме того, на площадке находятся три испаромера ГГИ-3000, причем один из испаромеров, далее в работе он фигурирует под номером три, является теплоизолированным.

В результате, для анализа мы имеем показания с шести испаромеров, причем три из них однотипные ГГИ-3000. В этом случае можем применить хорошо зарекомендовавший себя способ сличения [2]. Исключаем систематическую составляющую погрешности, как математическое ожидание разности показаний различных испаромеров. В результате получаем оценки для σ^2 :

- Первый ГГИ-3000 – 0,009мм²
- Второй ГГИ-3000 – 0,056 мм²
- Третий ГГИ-3000-ТМ (теплоизолированный) - 0,090 мм²
- Бассейн 3м² – 0,148 мм²
- Бассейн 5м² – 0,200 мм²
- Бассейн 20м² – 0,295 мм²

Из полученных результатов следует, что случайная составляющая погрешности для испаромеров ГГИ-3000 близка к погрешности шкалы деления уровнемеров, используемых для работы ГГИ-3000. Определенный разброс в оценке случайной составляющей погрешности для испаромеров ГГИ-3000 обусловлен тем, что испаромеры ГГИ-3000 с номерами 2 и 3 изымались из процесса наблюдения для покраски и тем самым нарушался процесс однородности наблюдения. Причем, на оценке случайной составляющей погрешности испаромера ГГИ-3000-ТМ-3 (теплоизолированного), могла сказаться неучтенная систематическая составляющая погрешности. Таким образом, для испаромеров ГГИ-3000 случайная составляющая погрешности составляет от 0,1мм до 0,3мм. Случайная

составляющая погрешности для 20м² испарительного бассейна в среднем в три-четыре раза больше и составляет примерно 0,54мм.

Для определения систематической составляющей погрешности мы исходим из того, что для 20м² бассейна она мала. В результате получаем оценки для систематической составляющей погрешности - Δ :

- Первый ГГИ-3000 – 0,111мм
- Второй ГГИ-3000 – 0,134мм
- Третий ГГИ-3000 (теплоизолированный) - 0,022мм
- Бассейн 3м² – 0,052мм
- Бассейн 5м² – 0,004мм

Предположение о незначительной величине систематической составляющей погрешности для измерения испарения с помощью 20м² бассейна, как видно из результатов, оправдано. Для 5м² бассейна систематическая составляющая погрешности пренебрежимо мала, для 3м² бассейна меньше шкалы деления у используемого уровнемера. Для испаромеров ГГИ-3000, систематическая составляющая погрешности достаточно велика, кроме теплоизолированного ГГИ-3000-ТМ (собственно, он и создавался, чтобы минимизировать систематическую составляющую погрешности[3])

Таким образом видим, что случайная составляющая погрешности для испаромеров ГГИ-3000 по сравнению с испаромерными бассейнами мала и наоборот систематическая составляющая погрешности ГГИ-3000 велика по сравнению с систематической составляющей погрешности испаромерных бассейнов. На основании вышеизложенного мы строим линейную модель зависимости систематической погрешности для ГГИ-3000 и случайной составляющей погрешности для испаромерного 20м² бассейна в следующем виде:

$$\Delta = \Delta_0 + \sum_{i=1}^N a_i * t_i$$

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 + \sum_{i=1}^N b_i * t_i,$$

где Δ_0 – значение систематической составляющей погрешности для ГГИ-3000 при средних значениях всех параметров в день летнего солнцестояния, σ_0^2 - значение случайной составляющей погрешности для 20м² бассейна при средних значениях всех параметров в день летнего солнцестояния, N - число параметров, a_i и b_i - коэффициенты. Таким образом, предполагается рассматривать как систематическую, так и случайную составляющие погрешности в виде плоскости в N – пространстве. Как видно из таблицы 1 можно использовать все тридцать шесть параметров, но использовать все параметры нет необходимости. Например, если производится оценка систематической составляющей

погрешности для ГГИ-3000, имеет смысл использовать, только такие параметры, как уровень испарившейся воды, температура воды, упругость водяного пара по температуре воды и разность между упругостью насыщения и абсолютной влажностью воздуха на высоте 2м, привязанные к данному испаромеру, а не связанные с испаромерными бассейнами. Аналогично для определения случайной составляющей погрешности испаромерных бассейнов. Также не имеет смысла одновременно использовать данные по упругости насыщения, и дефициту влажности используя эмпирическую формулу Магнуса и те же данные полученные с помощью психометрических таблиц.

Плоскости проводятся с помощью метода наименьших квадратов. Вычисляя дисперсию отклонений результатов измерений от полученных плоскостей, можно оценить с какой точностью получены оценки.

Результаты.

В результате были получены следующие зависимости систематической составляющей погрешности для ГГИ-3000

$$\Delta = 0,09 + 0,61t_{13} - 3,99t_{14} + 4,50t_{15} - 1,44t_{16} + 3,54t_{25} - 2,61t_{26} - 0,57t_{27} + 0,20t_{29} - 0,35t_{31} - 1,33t_{33}$$

и случайная составляющая погрешности для 20м² испарительного бассейна

$$\sigma^2 = 0,38 - 0,53t_3 + 1,76t_{25} - 0,92t_{26} + 0,23t_{27} - 0,12t_{29} - 0,09t_{31} - 0,74t_{33} - 0,0011t_{36}$$

Как указывалось ранее, все параметры t_i приведены в относительных единицах, поэтому коэффициенты выражены в миллиметрах для систематической составляющей погрешности и мм² для σ^2 . Только параметр t_{36} выражен в количестве дней относительно дня летнего солнцестояния.

Рассмотрим влияние различных параметров на систематическую и случайную составляющую погрешности в порядке убывания их влияния.

Для систематической составляющей погрешности на первом месте стоит упругость водяного пара, вычисленная по температуре воды. На втором месте температура воды. Далее следуют температура воздуха, влажность воздуха, разность между упругостью насыщения и абсолютной влажностью воздуха, величина упругости насыщения при данной температуре воздуха, уровень испарившейся воды, скорость ветра, температура почвы, относительная влажность. Резюмируя сказанное, самый большой вклад в систематическую составляющую погрешности вносят параметры, связанные со скоростью испарения, потом следуют температурные параметры и наконец скорость ветра и влажность.

Для случайной составляющей погрешности на первом месте стоит температура воздуха. Далее следуют абсолютная влажность, величина упругости насыщения при данной температуре воздуха, упругость водяного пара, определенного по температуре воды, относительная влажность, температура почвы и количество дней от летнего солнцестояния.

Важно отметить, что для случайной составляющей погрешности большое значение приобретает коэффициент не зависящий от параметров. Резюмируя сказанное, самый большой вклад в случайную составляющую погрешности вносят, так же как и в систематическую составляющую погрешности, параметры связанные со скоростью испарения. Важны так же параметры, которые связаны с получением тепловой энергии.

Выводы.

20м² испарительный бассейн в совокупности с тремя рядом установленными испаромерами ГГИ-3000 могут служить в качестве первичного эталона по измерению испарения. Причем данный эталон может сам себя контролировать, по изложенному ранее методу. Теплоизолированный ГГИ-3000 ТМ может служить в качестве вторичного эталона, после корректировки систематической составляющей погрешности предложенным здесь методом.

Литература.

1. Голубев В.С. Влияние бортика испарителя на поглощаемую водной массой прямую солнечную радиацию. Труды ГГИ, 1988, вып. 331, с. 81-88.
2. Голубев В.С., Коновалов Д.А., Симоненко А.Ю., Товмач Ю.В. Оценка погрешностей измерения атмосферных осадков Валдайской контрольной системой. Метеорология и гидрология, 1997г., №7, с.108-116.
3. Голубев В.С., Калюжный И.Л., Федорова Т.Г. Теплоизолированный испаритель ГГИ-3000- ТМ и результаты его испытаний. Труды ГГИ, 1980, вып. 266, с. 74-85.