

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСРЕДНЕНИЯ НА РАСЧЕТ ИСПАРЕНИЯ ПО ДАННЫМ СРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.С. Аверкиев¹, д-р. геогр. наук, В.Ф. Дубравин², д-р. геогр. наук

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE AVERAGING ON EVAPORATION CALCULATION BY THE DATA OF URGENT OBSERVATIONS

A.S. Averkyev¹, Dr Sc, V.F. Dubravin², Dr. Sc.

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

²Institute of Oceanology. P.P. Shirshov RAS, Moscow, Russia

В системе взаимодействия океана и атмосферы большая роль принадлежит влагообороту, одним из компонентов которого является испарение. В формулы для расчета испарения и потоков влаги входят скорость ветра, перепады влажности и высоты z, на которой выполнялись измерения и коэффициент обмена влагой, который также зависит от этих параметров. При этом рассчитанные значения испарения сильно зависят от способа и периода осреднения. Цель настоящей работы – дать количественную оценку влияния осреднения на рассчитанные значения потока влаги Ev в случаях, если они рассчитаны непосредственно по данным срочных наблюдений и в случае расчета по осредненным данным.

Moisture rotation plays an important role in the ocean-atmosphere interaction system, evaporation is one of its components. The formulas for calculating evaporation and moisture fluxes include wind speed, humidity changes and altitude z, at which the measurements and moisture exchange coefficient were performed, which also depends on these parameters. The calculated values of evaporation depend strongly on the method and the averaging period. The purpose of this paper is to quantify the effect of averaging on the calculated values of the moisture flux Ev in cases where they are calculated directly from the data of urgent observations and in the case of averaging.

Осреднение потоков влаги Ev по времени и по пространству существенно занижает значения потоков, так как в формулу для расчета (1) нелинейно входят метеорологические параметры на двух уровнях и коэффициент обмена влагой (C_E), который также зависит от этих параметров.

$$Ev = 0,622P_0^{-1}\rho C_E(E_{0w} - e_a)W, \quad (1)$$

где P₀ – атмосферное давление на уровне моря (гПа); ρ – плотность воздуха (кг/м³); e_a – упругость водяного пара (гПа); E_{0w} – максимальная упругость водяного пара при температуре воды T_w(°C); W – скорость приводного ветра (м/с); C_E – коэффициент обмена влагой.

Так, относительно наблюдений в точке по [1] (Gulev, 1994), пространственное двухградусное осреднение занижает потоки испарения на 28 %, а пятиградусное – на 46 %. Искажение потоков влаги (а также и потоков тепла и импульса) происходит и при осреднении по времени входящих в формулы метеорологических параметров с последующим расчетом потоков. В большинстве случаев, как будет показано ниже, это занижение потока влаги при увеличении периода осреднения. Соответственно при осреднении потоков в расчетах и моделях важно знать величину возможных искажений [2].

Для оценки влияния осреднения параметров по времени использовались данные натуральных наблюдений: температуры воздуха T_a(°C) и воды T_w(°C), относительной влажности f (%), атмосферного давления на уровне моря P₀ (гПа) и скорости ветра W (м/с) (дискретность 1 ч), предоставленные Немецким Центром Океанографических Данных (BSH/DOD (M41)) – на станциях в Южной Балтике Аркона(ArkonaBasin) и Дарсский порог (DarssSill) мониторинговой сети MARNET за 2002-2016 гг. (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075 между ИО РАН и BSH/DOD (M41)). В табл. 1 приведены значения испарения, рассчитанные по данным ежечасных наблюдений и по осредненным значениям метеоэлементов за сутки и за месяц.

Таблица 1. Среднегодовое сезонное испарение E_v (мм/мес) на станциях Дарский порог (2003-2016) и Аркона (2002-2016), рассчитанный при осреднении с различной дискретностью и постоянным коэффициентом влагообмена $C_E = 1,3 \cdot 10^{-3}$

Дискретность	Месяцы												II- XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Дарский порог (2003-2016)													
час	12,87	7,59	3,95	3,06	5,31	9,31	14,06	17,09	18,08	21,50	18,00	13,04	143,85
сут.	12,87	7,69	3,60	2,99	5,18	9,18	13,84	17,02	17,97	21,56	18,09	13,15	143,13
мес.	13,26	6,52	2,54	1,10	2,65	7,11	10,22	15,67	17,37	19,63	16,80	13,33	126,20
Аркона (2002-2016)													
час	17,60	8,06	5,85	3,87	4,18	9,98	13,37	22,93	21,30	24,79	23,57	16,95	172,45
сут	17,59	8,20	5,86	4,10	4,03	9,89	13,14	22,86	21,41	24,83	23,66	17,11	172,68
мес	14,94	6,79	4,18	1,33	1,45	5,85	10,83	19,28	20,73	23,78	19,69	15,64	144,50

Сравнение значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и затем осредненным за сутки (аргумент- x) и значениям испарения, рассчитанным по среднесуточным значениям гидрометеорологических элементов (функция- y), за весь период наблюдений (длина рядов Аркона - x_1 , y_1 - 2665 сут.; Дарс - x_2 , y_2 - 2940 сут.) на обеих станциях в Южной Балтике показало, что они хорошо согласуются (табл. 2).

Таблица 2. Статистические параметры рядов при сравнении значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и затем осредненным за сутки (аргумент- x), и значениям испарения, рассчитанным по среднесуточным значениям гидрометеорологических элементов (функция- y)

	Ср месячные - y , осредненные почасовые - x								y_b - восстановленное по уравнению регрессии (2)		
	Длин а ряда	Сред нее x	Сред нее y	СКО x σ_x	СКО y σ_y	r	a	b	Сред y_b	Ср квотк l_{y_b}	Ср квадр ошибка $y - y_b$
Аркона	2665	0,50	0,50	0,51	0,51	1.0	1.002	0.001	0,50	0,51	0,025
Дарс	2940	0,42	0,42	0,47	0,47	1.0	1.002	0.001	10,84	7,66	0,024

Коэффициент корреляции (r) практически равен 1, средние квадратические отклонения равны в обоих расчетных рядах (Аркона $\sigma_{x1} = \sigma_{y1} = 0.51$, Дарс $\sigma_{x2} = \sigma_{y2} = 0.47$). Построены уравнения линейной регрессии (формула (2)).

$$y = 1,002x - 0,001 \quad (2)$$

Для ст. Аркона и ст. Дарский порог они имеют одинаковый вид с точностью до третьего знака после запятой, поэтому приведено одно уравнение регрессии и графики уравнений регрессии не приводятся (точки в поле XOY лежат «плотно» на линии регрессии).

Данные таблиц 1 и 2 и коэффициенты уравнения регрессии (2) достаточно убедительно свидетельствуют о том, что суточное осреднение значений испарения не приводит к значительным отклонениям от расчета по срочным наблюдениям и, следовательно, такое осреднение возможно при любых расчетах, по крайней мере, в Балтийском море. Различия в значениях коэффициента обмена влагой C_E у различных авторов [3] $C_E = (1,0 - 1,7) \cdot 10^{-3}$ значительно превосходят ошибки осреднения.

Сравнение значений испарения, рассчитанных по ежечасным наблюдениям, а затем осредненных за сутки и за месяц (аргумент- x), и значений испарения, рассчитанным по среднемесячным данным о параметрах (y), показывает (табл. 3), что в этом случае коэффициенты корреляции рядов тоже достаточно высокие (0,91 и 0,94), т.е. осреднение в целом не искажает внутригодовой ход значений испарения. Но значения испарения, рассчитанные по среднемесячным значениям гидрометеорологических элементов, занижаются в среднем примерно на 10-15% (коэффициенты a уравнений регрессии (3) и (4) равны 0,85 и 0,909).

Таблица 3. Статистические параметры рядов при сравнении значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и затем осредненным за сутки и за месяц (аргумент- x), и значений испарения, рассчитанным по среднемесячным значениям гидрометеорологических элементов (функция- y)

	Ср. месячные - y , осредненные почасовые - x								у- восстановленное по уравнениям регрессии (3,4)		
	Длина ряда	Среднее x	Среднее y	СКО x σ_x	СКО y σ_y	r	a	b	Сред y_v	Ср квотк $лy_v$	Ср квадрат ошибка $y - y_v$
Аркона	153	14,89	12,64	10,18	9,58	0,91	0,85	-0,057	12,60	8,65	3,67
Дарс	135	12,39	10,84	8,43	8,14	0,94	0,909	-0,423	10,84	7,66	2,75

Уравнения регрессии для ст. Аркона и ст. Дарский порог имеют вид

$$y = 0,85x - 0,057 \quad (3)$$

$$y = 0,909x - 0,423 \quad (4)$$

Графики линейной связи осредненных и «срочных» значений испарения для ст. Аркона и ст. Дарский порог имеют сходный вид (рисунки 1, 2). Наибольшие отличия осредненных и «срочных» значений испарения отмечаются в октябре и в январе. Причем в октябре это очевидно обусловлено тем, что абсолютные значения испарения в этом месяце максимальные за год в среднемноголетнем сезонном ходе (табл. 1), поэтому и отличия восстановленных по уравнению регрессии и фактических значений испарения максимальны. В январе средние многолетние значения испарения тоже больше, чем в летние месяцы, и, кроме того, возможно сказывается влияние низких и отрицательных температур воздуха, наличие льда, изморози и других факторов, что снижает точность измерений в приводном слое зимой и приводит к выбросам в данных наблюдений.

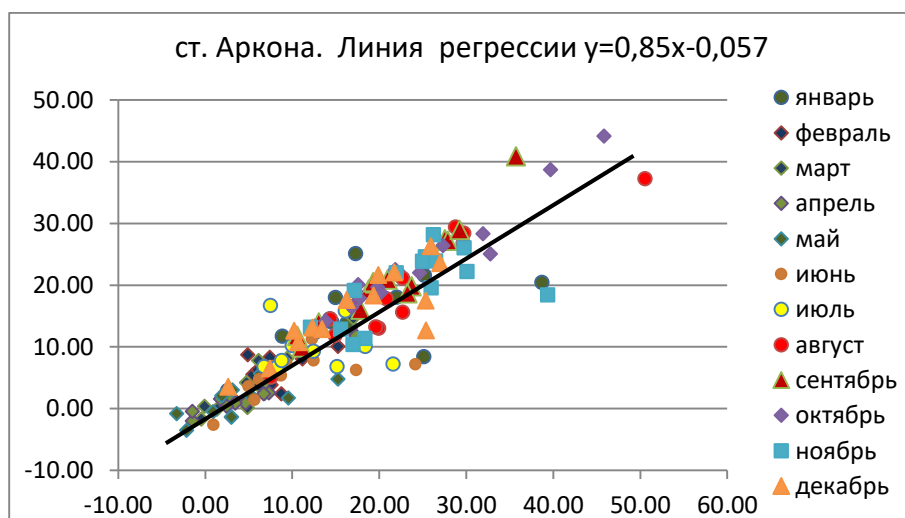


Рис. 1. Связь значений испарения, рассчитанных по среднемесячным значениям гидрометеорологических элементов (мм/мес - y), с «почасовыми» значениями испарения,

осредненными за сутки и месяц (мм/час*24*30 - x). ст. Аркона. Уравнение регрессии $y=0,85x-0,057$

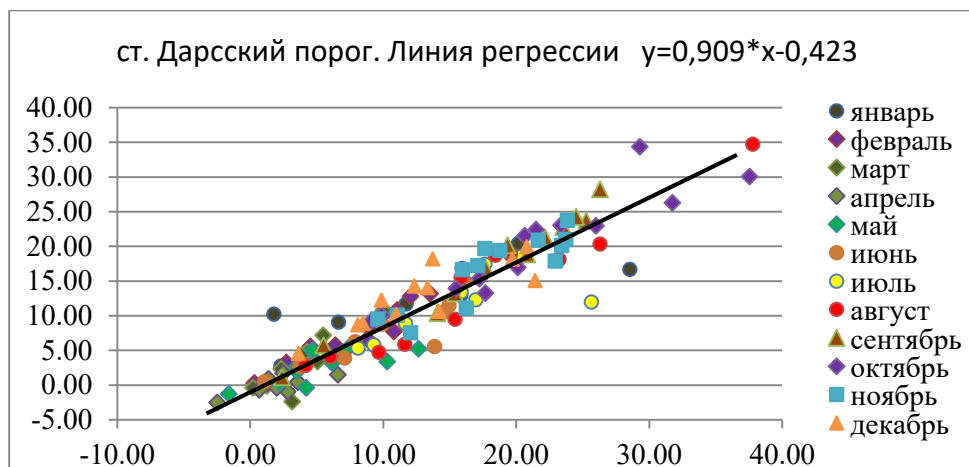


Рис. 2. То же для ст. Дарский порог. Уравнение регрессии $y=0,909 * x - 0,423$

Сравнение значений испарения, рассчитанных по осредненным за сутки значениям параметров и затем осредненным за месяц (аргумент- x), и значениями, рассчитанными по среднемесячным данным (y), показало аналогичные предыдущим результаты. Средние и среднеквадратические отклонения рядов x и y (первые статистические моменты) практически одинаковы, незначительно отличаются и коэффициенты уравнений линейной регрессии на обеих станциях (уравнения 3, 4 и 5, 6).

$$y = 0,85x - 0,013 \quad (5)$$

$$y = 0,909x - 0,402 \quad (6)$$

Этого следовало ожидать, учитывая высокую степень линейной связи значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и рассчитанных по среднесуточным величинам, т.е. аргументы (x) в уравнениях регрессии (3) и (5) и в уравнениях (4) и (6) связаны линейно с коэффициентом корреляции близким к единице, поэтому и уравнения регрессии отличаются незначительно.

Что касается значений, рассчитанных по осредненным за год величинам метеоэлементов, то такие расчеты были также выполнены. Очевидно, что при таком осреднении, значения испарения существенно искажаются, коэффициенты корреляции меньше 0.4, и сами значения испарения занижаются на 25-50%. Поэтому уравнения регрессии здесь не приводятся и расчеты с таким осреднением исходных данных не рекомендуются.

Выводы.

Сравнение значений испарения, рассчитанных по данным ежечасных наблюдений и затем осредненным за сутки и месяц, и рассчитанных по осредненным величинам гидрометеоэлементов показало, что

1. Осреднение за сутки допустимо с точностью, превосходящей точность определения коэффициента влагообмена, и, во многих случаях, вероятно, превосходящей и точность наблюдений.

2. Осреднение значений исходных данных за периоды в месяц приводит к ошибкам - к занижению значений испарения примерно на 15 %. При осреднении за большие периоды ошибка возрастает.

3. Ошибки за счёт осреднения исходных данных в значениях испарения и потоков влаги велики, но разброс в определении коэффициента обмена влагой C_E на порядок величины [3] значительно превосходит ошибки осреднения.

4. Оценки влияния осреднения исходных данных очевидно справедливы для расчетов испарения и потоков влаги в Балтийском море и могут использоваться в качестве реперных в других акваториях средних и высоких широт.

Литература

1. Gulev S.K. Influence of Space-Time Averaging on the Ocean-Atmosphere Exchange Estimates in the North Atlantic Midlatitudes // J. Phys. Oceanogr. - 1994. - Vol. 24. - No 6. - P. 1236-1255.
2. Дубравин В.Ф., Стонт Ж.И., Гуцин О.А. Долгопериодная изменчивость потоков тепла, влаги и импульса восточной части Гданьского бассейна // Наука и образование в России: история и современное состояние / Каледин Н.В., Дмитриев В.В., Алиев Т.А. – СПб: ВВМ, 2010. – С. 794-801.
3. Лаппо С. С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 336 с.

Авторы благодарят Немецкий Центр Океанографических Данных (BSH/DOD(M42) за гидрометеоинформацию мониторинговой сети MARNET в 2002-2016 гг. (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075). Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0012).

The authors thank the German Center for Oceanographic Data (BSH / DOD (M42) for hydrometeoinformation of the MARNET monitoring network in 2002-2016 (agreement 2518 / 2014-002 and 2518 / 2016-075). The work was performed as part of the state task of the IO RAS (topic number 0149-2018-0012).