

## ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ТЕПЛООБМЕНА ПОВЕРХНОСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И ПРИВОДНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ПЕРИОДА ОТКРЫТОЙ ВОДЫ

Пилипенко А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия, pilipenko.an.12@gmail.com*

**Аннотация.** Данное исследование посвящено методам получения эмпирических зависимостей между параметрами теплообмена поверхности Ладожского озера с атмосферой. Результаты исследования подтвердили возможность их использования в корректной оценке исследуемых параметров.

Ключевые слова: Ладожское озеро, температура поверхности воды, температура воздуха, влажность, упругость, теплообмен.

Эволюция термического состояния озера в годовом цикле определяется соотношением прихода и потерь тепла на поверхности и распределением его внутри всей водной массы, т.е. составляющими теплового баланса озера. Радиационный приток тепла на поверхность всего озера в фиксированный момент времени определяется широтой места, облачностью и т. п. [1]. Основной вклад в сезонные изменения теплообмена поверхности озера с атмосферой дают две составляющие: LE - тепло, приходящее за счет конденсации (испарения), R - турбулентный теплообмен поверхности озера с атмосферой, определяемые разностью температуры воздуха и температуры воды  $\Delta T = T_a - T_w$ . Для Ладожского озера было показано, что в зависимости от района и глубины места составляющая LE изменяется по акватории в период весенне-летнего нагревания, особенно в июне [2]. Целью настоящего исследования является установление эмпирических зависимостей между существенными параметрами теплообмена поверхности озера с атмосферой: температурой воздуха и температурой воды, а также влажностью приводного воздуха и упругостью насыщения воздуха.

Процессы теплообмена между водной поверхностью и приводным слоем воздуха можно охарактеризовать двумя параметрами, т.е. представить их как двухпараметрические. Выбор каждой пары параметров определяется физическими особенностями исследуемых процессов. В координатах этих параметров на плоскости могут быть рассмотрены их зависимости во времени, которые для циклических процессов образуют замкнутые траектории или петли. Такая траектория отражает изменение состояния системы в течение одного цикла и в некотором смысле аналогична фазовой траектории колебательного процесса на фазовой плоскости [3].

Для различных процессов могут быть рассмотрены разные фазовые траектории. В проводимых мною исследованиях были выбраны зависимости «температура воды – температура воздуха» и «упругость насыщения – влажность воздуха». Зависимости построены в координатах по среднедекадным данным в период с 1897 по 2012 годы, начиная с 5 мая по 25 ноября для каждого из шести лимнических районов Ладожского озера [4] для периода весеннего нагревания (май – начало августа) и осеннего охлаждения (август – конец ноября). Осреднение проводилось для синоптического периода (10 суток) с перекрытием 5 суток, что позволило сгладить пространственно-временные вариации температуры воды в каждом районе. Для аппроксимации были использованы два вида уравнений (1), (2) [5] и полином второй степени:

$$T_w = \frac{m+(a-m)}{1+e^{y(b-T_a)}}, \quad 1)$$

$$T_w = \frac{a}{1+e^{y(b-T_a)}}, \quad 2)$$

где  $T_w$  – температура воды,  
 $m$  – минимальная температура воды,  
 $a, y, b$  – искомые переменные,  
 $T_a$  – температура воздуха.

Для расчета зависимости «упругость насыщения – влажность воздуха» использовано уравнение (2), где вместо температуры воды – упругость насыщения воздуха, вместо температуры воздуха – влажность приводного воздуха.

Графики, аппроксимирующие исходные данные уравнением (2) и полиномом второй степени, получились очень похожими. Для сравнения результатов, был определен коэффициент детерминации ( $R$ ), превышающий 0.9. Полученные эмпирические зависимости указывают на отличия процессов нагревания и охлаждения различных районов Ладожского озера друг от друга. Зависимости «температура воды – температура воздуха» для периодов нагревания и охлаждения могут использоваться в дальнейших расчетах, так как коэффициент детерминации более 0,97 во всех лимнических зонах. Сравнительный анализ расчётов для зависимостей «упругость насыщения – влажность воздуха» показал, что для процессов нагревания и охлаждения во всех зонах коэффициент  $R$  более 0,95, что позволяет использовать данные результаты для корректной оценки параметров теплообмена поверхности Ладожского озера с приводным воздухом.

#### Литература

1. Изотова А.Ф. Турбулентный тепло- и влагообмен больших озер. Л.: Наука, 1982. 144 с.
2. Иванова Е.В., Панин Г.Н., Поздняков Ш.Р., Румянцев В.А. Особенности режима испарения с акватории Ладожского озера. – Метеорология и гидрология, 2013, № 11. С. 87–94.
3. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан – атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 335 с.
4. Наumenко М.А., Каретников С.Г. Морфометрия и особенности гидрологического режима Ладожского озера. / В кн.: Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее / Под ред. В.А. Румянцева и В.Г. Дробковой. – СПб.: Наука, 2002. С. 16–49.
5. Schertzer W. M., Taylor B. Report to the Okanagan Water Supply and Demand Study on Lake Evaporation Assessment of the Capability to Compute Evaporation from Okanagan Lake, Other Mainstem Lakes and Basin Lakes and Reservoirs using the Existing Database. WSTD Contribution № 08-547, 2009. 102 p.

### EMPIRICAL RELATIONS BETWEEN HEAT EXCHANGE PARAMETERS OF LAKE LADOGA SURFACE AND THE SURFACE LAYER OF AIR FOR THE OPEN WATER PERIOD

Pilipenko A.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia, pilipenko.an.12@gmail.com

**Abstract.** This study considers the methods used to obtain empirical relations between the heat exchange parameters of Lake Ladoga surface and the atmosphere. It also proves that it is possible to use them to estimate these parameters correctly.

**Key words:** Lake Ladoga, water surface temperature, air temperature, humidity, vapour pressure, heat exchange.