

УДК 556.55:556.13

Ю. А. Кафтанатий (ФГБОУ ВПО «НГМА»)

ПРОЦЕССЫ ИСПАРЕНИЯ С МАЛЫХ ВОДОЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В летне-осенний период проводились натурные исследования по измерению испарения с поверхности малого водоема, расположенного вблизи города Новочеркасск. В статье приведены основные характеристики исследуемого водного объекта, а также план его расположения. Описана методика определения испарения с поверхности водоема. По окончании натурального исследования были построены графики изменения температур воды в водоеме, а также изменения глубин в течение летне-осеннего периода. В результате обработки данных был рассчитан поправочный коэффициент на глубину водоема, а также построен график его изменения за весь летне-осенний период в зависимости от глубины. В статье приведены несколько расчетных способов определения испарения. В результате их анализа сделан вывод, что наиболее приемлемой формулой для определения испарения с малых водоемов является формула Б. Д. Зайкова. Приводится сравнительный анализ расчетов испарения по формуле Б. Д. Зайкова. Один расчет производится с применением поправочного коэффициента на глубину, предложенного Б. Д. Зайковым, определяемого, исходя из зоны расположения водоема и его глубины, однако замечено, что при глубине водоема до 2 м данный коэффициент равен 1 для всех зон, несмотря на различные климатические условия. Второй расчет производится с применением поправочного коэффициента на глубину, рассчитанного по результатам натуральных исследований. В результате сделан вывод, что согласно натурным исследованиям слой испарения составил 70 см и наиболее близким к нему был второй результат расчета. Следовательно поправочный коэффициент на глубину K_n зависит от зоны, времени года, температуры окружающей среды. Для степной зоны при глубине водоема 2 м его рекомендовано принимать в диапазоне от 0,82 до 0,96.

Ключевые слова: испарение, малый водоем, поправочный коэффициент, глубина, натурное исследование.

Yu. A. Kaftanatiy (FSBEE HPE “NSMA”)

EVAPORATION PROCESSES FROM SMALL RESERVOIRS OF THE ROSTOV REGION

During the summer-autumn period field research on evaporation measurement from a surface of the small reservoir located near the city of Novocherkassk were conducted. The main characteristics of studied water object, and also the plan of its arrangement are provided in the article. The technique of definition of evaporation from a reservoir surface is described. At the end of field research, schedules of change of water temperatures in the reservoir, and also changes of depths during the summer-autumn period were constructed. As a result of data processing, the correction factor was calculated on the reservoir depth, and also the schedule of its change for all the summer-autumn period depending on depth is constructed. In the article some settlement ways of evaporation definitions are given. Analyzing them, we come to a conclusion that the most acceptable formula for evaporation definition from small reservoirs is B. D. Zaykov's formula. The comparative analysis of calculations of evaporation on B. D. Zaykov's formula is provided. The first calculation is made with application of correction factor on a depth, offered by B. D. Zaykov, which is defined proceeding from zone of a

reservoir and its depth. However, it is noticed that with a depth of reservoir up to 2 m this factor is equal to 1 for all zones, despite various climatic conditions. The second calculation is made with application of correction factor on depth, calculated on the results of the field research. As a result, we come to a conclusion that according to the field research the layer of evaporation is 70 cm and the second result of calculation was the closest to it. Therefore the correction factor on depth, K_n , depends on a zone, a season, and ambient environment temperature. In a steppe zone, for the 2 m depth reservoir the correction factor is assumed from 0.82 to 0.96.

Keywords: evaporation, small reservoir, correction factor, depth, natural research.

Одной из причин значительных потерь воды из малых водоемов является неконтролируемый процесс испарения с водной поверхности.

Многие ученые посвятили свои труды проблеме испарения с водной поверхности и суши. Наиболее сложным являлся вопрос о размере бассейна, испарение с которого должно быть принято за эталон. Многочисленные экспериментальные данные, приведенные в ранее опубликованных работах А. П. Браславского и З. А. Викулиной (1954 г.), Б. Д. Зайкова (1949 г., 1960 г.), П. П. Кокаулина и Г. Л. Яцентковского (1950 г.), М. Я. Кунявского (1957 г.), Р. К. Линслея, М. А. Колера и Д. Л. Паулюса (1962 г.), монографии Р. Слейтера и И. Маклроя (1964 г.) и др., а также данные многолетних наблюдений на водоиспарительной площадке ВНИГЛ свидетельствует о существенной зависимости интенсивности испарения от размера испаряющей поверхности, т. е. от площади испарителя – водоема. Установлено, что с уменьшением последней интенсивность испарения возрастает [1].

Рассмотрим некоторые методы определения испаряемости.

Э. М. Ольдекоп (1911 г.) предложил определять испаряемость, используя данные по дефициту влажности воздуха [2]:

$$E_0 = m \cdot d,$$

где m – коэффициент, равный 22,7 для теплой половины года, 16,0 – для холодной и 19,3 – в среднем за год;

d – дефицит влажности воздуха.

Н. Н. Иванов (1954) определял испаряемость по данным среднемесячной температуры и относительной влажности воздуха [2]:

$$E_0 = 0,0018(T + 25)^2(100 - r),$$

где T и r – соответственно среднемесячная температура и относительная влажность воздуха.

Для степной зоны согласно исследованиям А. Р. Константинова и К. И. Харченко [2] формула Н. Н. Иванова дает в среднем удовлетворительный результат. В то же время в зоне избыточного увлажнения согласно тем же исследованиям расчеты величины испарения по данной формуле дают заниженные результаты (до 50 %), а в сильно засушливых условиях пустынь подобные расчеты дают завышение (до 70-100 %).

Другому направлению в определении испаряемости, связанному с использованием температуры воздуха, посвящены работы Ланга и Мартона [2], в которых для количественной характеристики увлажнения использовались соответственно величины отношений H/T и $H/(T+10)$, где T – средняя годовая температура воздуха, H – количество осадков.

В свою очередь количественную характеристику испаряемости предложил Г. Т. Селянинов. Величина максимального испарения согласно его исследованию может быть выражена следующим соотношением [2]:

$$E_0 = 0,1 \sum T,$$

где $\sum T$ – сумма среднесуточных температур выше 10°C за рассматриваемый период.

Одним из физически обоснованных способов расчета величины максимально возможного испарения при заданных метеорологических условиях является методика, предложенная М. И. Будыко. В ее основе лежит величина радиационного баланса, используемая в комплексе с другими характеристиками. Слабым местом этой методики, несмотря на ее трудоемкость, является малая точность, связанная с недостающими сведениями о значении коэффициента диффузии D в различных метеорологических условиях [2].

Б. Д. Зайков, используя наблюдения с испарительных бассейнов СССР и усовершенствовав методику расчета, получил эмпирическую зависимость испарения с водной поверхности в зависимости от метеорологических факторов [3]. На основе этой зависимости по данным среднемесячных дефицитов влажности воздуха и среднемесячных скоростей ветра по отдельным метеостанциям им была составлена карта испарения с водной поверхности Европейской части СССР.

Формула и карта Б. Д. Зайкова дают возможность определить среднюю многолетнюю величину испарения (в мм/сут.) с открытой водной поверхности водоемов с зеркалом 100 га и максимальной глубиной до 6-8 м, расположенных в открытой местности или неглубоких понижениях.

Данная формула имеет вид:

$$E_B = 0,14(e_0 - e_{200})(1 + 0,72w_{200}),$$

где e_0 – максимальная упругость пара при температуре поверхности воды, мб;

e_{200} , w_{200} – влажность воздуха (мб) и скорость ветра (м/с) на высоте 200 см над поверхностью воды.

Для малых водоемов с площадью зеркала до 5 км² Б. Д. Зайков предложил следующую формулу:

$$E_0 = E_{20} \cdot K_n \cdot K_3 \cdot \beta, \text{ см/год,}$$

где E_{20} – испарение с бассейна площадью 20 м², определяемое по многолетним наблюдениям или по карте;

K_n , K_3 , β – поправочные коэффициенты на глубину, защищенность и площадь водоема.

Основываясь на вышеизложенном, считаем, что наиболее приемлемой формулой для определения испарения с малых водоемов является формула Б. Д. Зайкова.

Однако при анализе коэффициентов, входящих в формулу, в частности поправочного коэффициента на глубину, замечено, что при глубине

водоема до 2 м данный коэффициент равен 1 для всех зон, несмотря на различные климатические условия.

Для проверки данного факта нами были проведены натурные исследования на одном из малых водоемов Ростовской области, который в перспективе вновь планируется к использованию как водоисточник для орошения небольших площадей [4].

Известно, что процессы испарения зависят от нескольких факторов, наиболее важными из которых являются метеорологические условия. Для территории Ростовской области характерен умеренно-континентальный климат умеренного пояса. Континентальные черты усиливаются в направлении с северо-запада на юго-восток. Происходит возрастание засушливости, жары, усиливается ветренность, зимой – холода. Характерной особенностью климата данной области является обилие солнечного света и тепла.

Водоем, на котором проводились наблюдения, расположен вблизи г. Новочеркасск – пруд неправильной геометрической формы, вытянутой к северо-востоку (рисунок 1). Питание пруда осуществляется грунтовыми водами, а также дождевыми и талыми водами с площади водосбора, равной 60500 м². Площадь зеркала водоема при НПУ $S_{\text{НПУ}} = 3848 \text{ м}^2$. На прибрежной территории водоема располагается фермерское хозяйство Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского ветеринарного института.

Проводимые исследования на водоеме заключались в том, что в период с июня по сентябрь каждую субботу с 11.00 до 12.00 часов производились измерения. До начала исследования на пруду были определены три створа (AB, BC, DE) по которым через каждые 2 м измерялись следующие параметры:

- глубина;
- температура воды на поверхности;
- температура воды на дне.

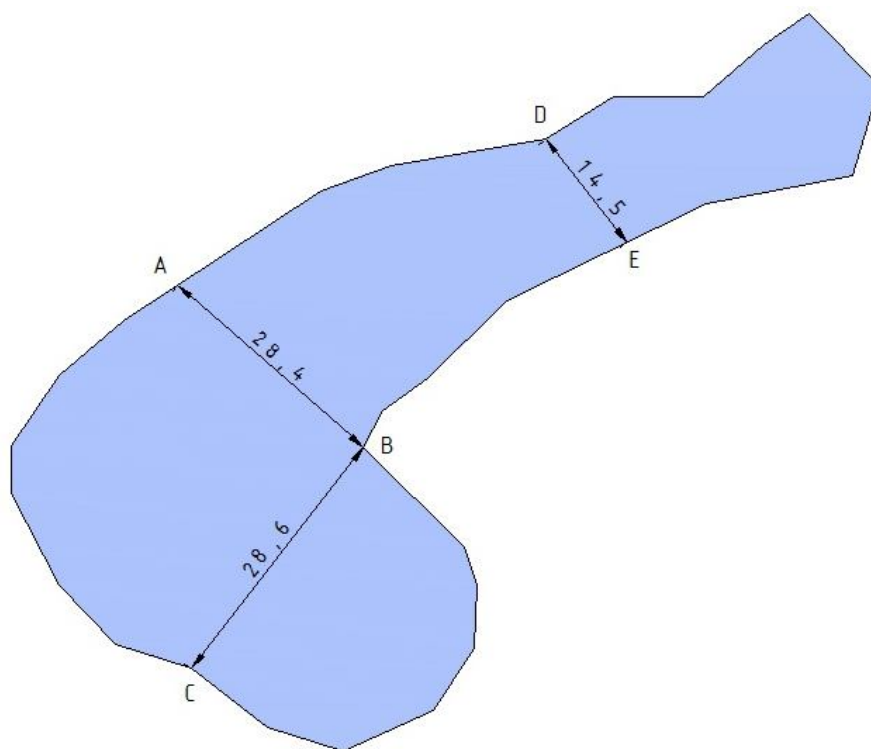


Рисунок 1 – Схема исследуемого пруда

В процессе измерений применялись следующие приборы и инструменты: термометр, отвес, веревка (для натяжения по створу), лодка.

В таблице 1 представлены данные измерений глубины и температуры воды для трех створов за крайние (первый и последний) дни исследований.

Таблица 1 – Результаты натуральных исследований водоема

№ точки	Створ АВ			Створ ВС			Створ ДЕ		
	Глубина, м	Температура на поверхности, °С	Температура на дне, °С	Глубина, м	Температура на поверхности, °С	Температура на дне, °С	Глубина, м	Температура на поверхности, °С	Температура на дне, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
02.06.12 г. время 11.00-12.00, температура воздуха 25 °С, ветер 8 м/с ЮВ									
1	1,2	22	21	0,4	22	20	0,8	22	20
2	2,0	22	20	0,4	22	20	0,9	22	20
3	2,3	22	20	0,4	22	21	1,0	22	19
4	2,7	22	19	0,5	22	21	1,05	22	19
5	3,0	22	18	0,5	22	20	1,0	22	19
6	3,0	22	18	0,5	22	20	0,9	22	20
7	2,6	22	18	0,5	22	21	0,6	22	20
8	2,9	22	18	0,35	22	21	-	-	-
9	2,7	22	18	0,35	22	21	-	-	-
10	2,4	22	19	0,4	22	21	-	-	-

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	1,9	22	19	0,45	22	21	-	-	-
12	1,7	22	20	0,4	22	20	-	-	-
13	1,2	22	20	0,4	22	20	-	-	-
14	1	22	21	0,3	22	20	-	-	-
29.09.12 г. время 11.00-12.00, температура воздуха 28 °С, ветер 2 м/с СЗ									
1	0,5	22	21	-	-	-			
2	1,3	22	20	-	-	-	0,2	22	21
3	1,6	22	19	-	-	-	0,3	22	21
4	2,0	22	18	-	-	-	0,30	22	21
5	2,3	22	18	-	-	-	0,3	22	21
6	2,3	22	18	-	-	-	0,2	22	21
7	1,9	22	18	-	-	-	-	-	-
8	2,2	22	18	-	-	-	-	-	-
9	2,0	22	18	-	-	-	-	-	-
10	1,7	22	18	-	-	-	-	-	-
11	1,2	22	19	-	-	-	-	-	-
12	1,2	22	20	-	-	-	-	-	-
13	0,5	22	20	-	-	-	-	-	-
14	0,3	22	20	-	-	-	-	-	-

Из таблицы 1 видно, что в летний период вода в створе ВС полностью испарилась, а в створе DE – частично. Учитывая, что в створе АВ вода сохранилась полностью и первоначально в большинстве точек глубина колебалась от 2,0 до 3,0 м, его принимаем за основной створ при анализе.

В результате обработки данных исследования определяем поправочный коэффициент на глубину водоема, который вычисляем путем отношения температуры воды на дне к температуре воды на поверхности.

На рисунке 2 представлен график изменения глубины по створам в их центральных точках за летне-осенний период.

Из графика видно, что уровень воды в створах АВ и DE в течение исследуемого периода колебался, что связано с выпадающими осадками, но в целом он снизился на 70 см. При этом наблюдается равномерное изменение глубины по всем створам, из чего следует, что измерения проводились с достаточной для натурных исследований точностью. Следует заметить, что начиная со второй половины июня по сентябрь месяц уровень воды в водоеме понижался и только в конце сентября повысился за счет выпадения осадков и малой солнечной активности. Это свидетельствует

о том, что энергии солнца, от которой зависит испарение, было недостаточно для понижения уровня воды в водоеме.

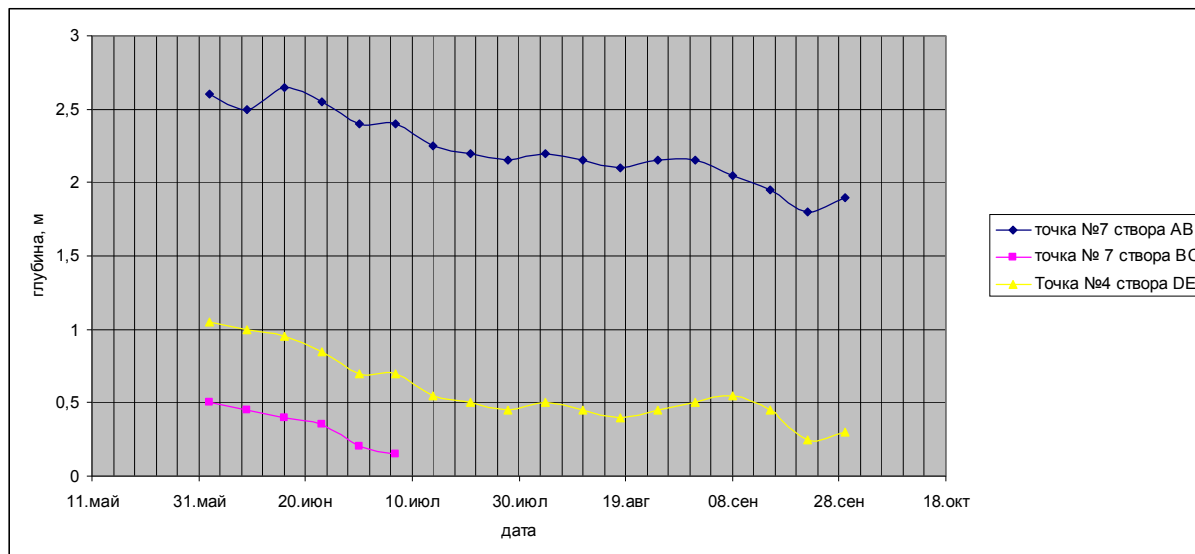


Рисунок 2 – Изменение глубины водоема за летне-осенний период

На рисунке 3 представлен график изменения температуры воды на дне и на поверхности пруда (результаты по створу АВ точка № 7).

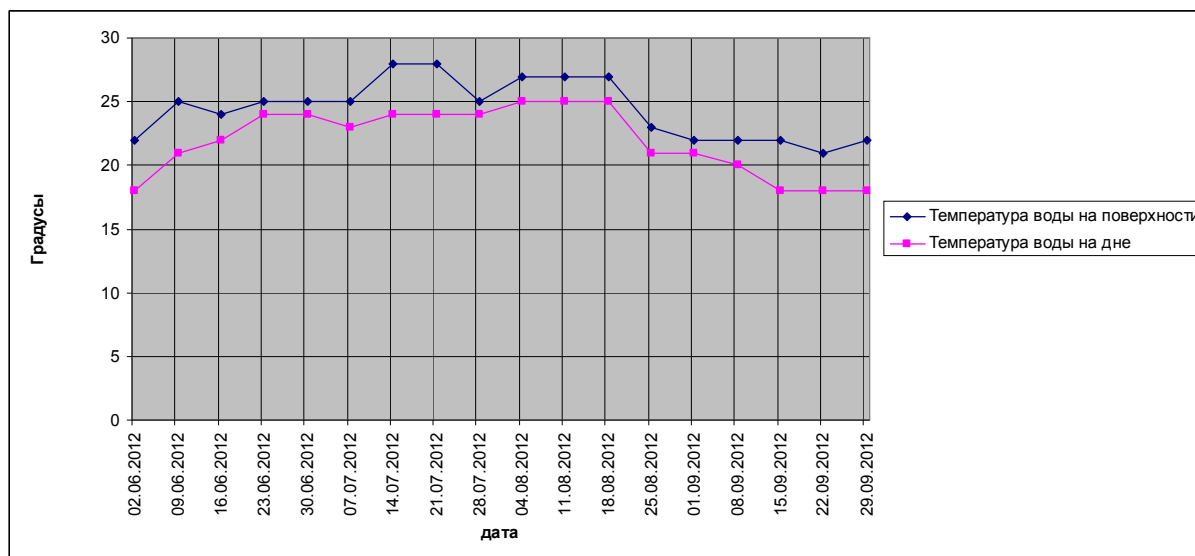
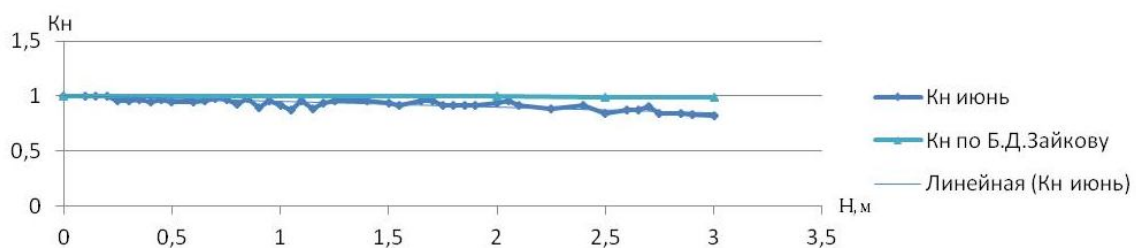


Рисунок 3 – Графики изменения температуры в водоеме

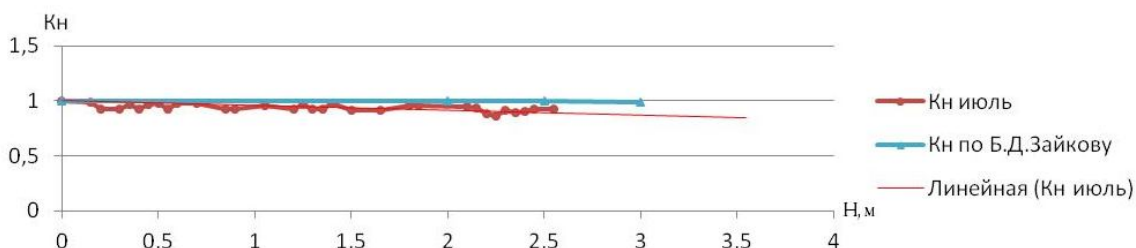
Из анализа графиков на рисунках 2 и 3 следует, что температура воды в водоеме зависит от глубины воды и солнечной активности – чем больше глубина, тем больше требуется энергии для ее прогрева. На дне температура

воды не подвержена таким колебаниям, а поэтому разница между температурами в течение наблюдаемого периода неодинакова. Из этого следует, что поправочный коэффициент на глубину K_n зависит как от зоны и глубины, так и от температуры окружающей среды и времени года.

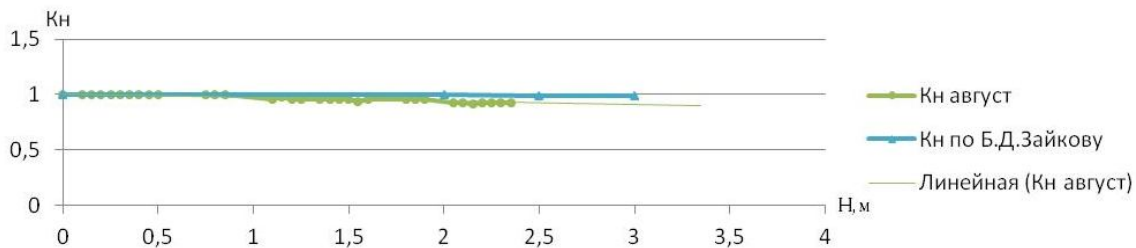
По итогам обработки результатов натуральных исследований был построен график поправочного коэффициента K_n в зависимости от глубины водоема (H) и месяца исследований. Он представлен на рисунке 4.



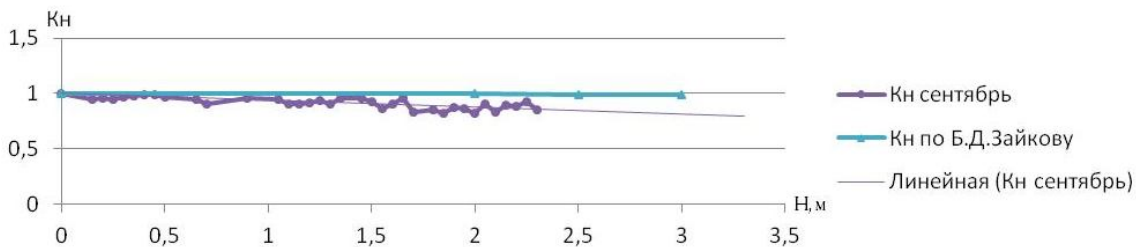
а



б



в



г

а – июнь, б – июль, в – август, г – сентябрь

Рисунок 4 – Распределения коэффициента K_n в зависимости от глубины водоема по месяцам

Из представленных на рисунке 4 кривых следует, что поправочный коэффициент на глубину не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от времени года, что следует учитывать при водопользовании. По результатам натурного исследования составлена таблица 2, где представлено изменение коэффициента K_n для степной зоны при изменении глубины до 2 м.

Таблица 2 – Поправочный коэффициент на глубину водоема K_n по результатам исследования

Месяц исследования	Значение коэффициента K_n при следующей глубине			
	0,5 м	1 м	1,5 м	2 м
Июнь	0,975	0,951	0,926	0,901
Июль	0,979	0,958	0,937	0,915
Август	0,986	0,971	0,957	0,943
Сентябрь	0,968	0,937	0,901	0,873
Среднее значение	0,977	0,954	0,930	0,908

Что касается коэффициента K_n для других глубин, то его нельзя прогнозировать из-за отсутствия данных натурных исследований.

Для глубины 2,19 м, что соответствует первоначальной средней глубине водоема в створе АВ, K_n по графику изменяется от 1 до 0,82. Принимаем среднее значение $K_n = 0,91$ и выполняем сравнительный расчет, используя формулу Б. Д. Зайкова, для исследуемого водоема:

$$E_0 = E_{20} \cdot K_n \cdot K_3 \cdot \beta, \text{ см/год,}$$

где E_{20} – среднемноголетнее испарение, которое для г. Новочеркасск по карте изолиний [3] составляет 110 см;

K_n – поправочные коэффициенты на глубину водоема; в первом случае принимаем по таблице 3 $K_n = 1,0$; во втором – по результатам исследований $K_n = 0,91$.

K_3 – поправочный коэффициент на защищенность водоема от ветра древесной растительностью, строениями, крутыми берегами и другими препятствиями, определяется по таблице 4 в зависимости от средней высоты препятствий h (в м) к средней длине разгона воздушного потока L_{cp}

(путь воздушного потока, вдоль которого воздушный поток сохраняет направление и усиливается, в м). Высота препятствий принимается как средняя взвешенная ее величина по периметру водоема:

$$\frac{h}{L_{\text{cp}}} = \frac{8 \text{ м}}{700 \text{ м}} = 0,011, \text{ тогда } K_3 = 0,96;$$

β – поправочный коэффициент на площадь водоема, принимаемый по таблице 5 [3].

Таблица 3 – Поправочный коэффициент на глубину водоема K_n [3]

Местоположение водоема	Глубина водоема, м					
	2	5	10	15	20	> 25
Тундровая и лесная зоны	1,00	0,99	0,97	0,95	0,94	0,92
Лесостепная зона	1,00	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92
Степная зона	1,00	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93
Зона полупустынь	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97
Зона пустынь	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 4 – Коэффициент уменьшения испарения с защищенных водоемов K_3 [3]

h/L_{cp}	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
K_3	0,96	0,89	0,84	0,80	0,76	0,70	0,64	0,57	0,51

Таблица 5 – Поправочный коэффициент β на площадь водоема

Площадь водоема, км ²	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0
β	1,03	1,08	1,11	1,18	1,21	1,23	1,26

Площадь пруда $S=3848\text{м}^2=0,0038\text{км}^2$, $\beta=1,0114$.

Определяем испарение для первого случая:

$$E_0 = 110 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 1,0114 = 106,8 \text{ см.}$$

Определяем испарение для второго случая:

$$E_0 = 110 \cdot 0,91 \cdot 0,96 \cdot 1,0114 = 97,19 \text{ см.}$$

Согласно натурным исследованиям слой испарения составил 70 см и наиболее близким к нему был второй результат. Невязка в результатах натурных исследований связана, во-первых, с большим интервалом полученных значений K_n , во-вторых, по формуле Б. Д. Зайкова определяется слой

испарения за год, а в данном эксперименте период исследования составляет всего 4 месяца.

Выводы:

- при вычислении испарения с малых водоемов следует использовать формулу Б. Д. Зайкова;

- поправочный коэффициент на глубину K_n зависит от зоны, времени года, температуры окружающей среды. Для степной зоны при глубине водоема до 2 м его нужно принимать в соответствии с рекомендуемой таблицей 2.

Список использованных источников

1 Браславский, А. П. Нормы испарения с поверхности водохранилищ / А. П. Браславский, З. А. Викулина. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 212 с.

2 Константинов, А. Р. Испарение в природе / А. Р. Константинов. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 532 с.

3 Зайков, Б. Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР / Б. Д. Зайков // Труды ГГИ. – Л., 1949. – Вып. 21(75). – 54 с.

4 Белов, В. А. Восстановление малых водоемов / В. А. Белов. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 76 с.

Кафтнатий Юлия Андреевна – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» (ФГБОУ ВПО «НГМА»), аспирантка.

Контактный телефон: +7 908 178 78 43.

E-mail: jkaftanati@gmail.com

Kaftanatiy Yuliya Andreyevna – Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education “Novocherkassk State Meliorative Academy” (FSBEE HPE “NSMA”), Postgraduate Student.

Contact telephone number: +7 908 178 78 43.

E-mail: jkaftanati@gmail.com