

Министерство охраны окружающей среды Республики Казахстан  
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "КАЗГИДРОМЕТ"

УДК 556.552.3(282.255.5)



УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
канд. геол.-мин. наук

Т.К. Кудеков  
"27" декабря 2005 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОСТАВЛЕНИЯ ГОДОВОГО ВОДНОГО  
БАЛАНСА ОЗ. БАЛХАШ  
(заключительный)

Директор научно-производственного  
Гидрометцентра, канд. техн. наук, доцент

С.П. Шиварева

Начальник отдела гидрологических  
Прогнозов

Л.Н. Никифорова

Алматы 2005

## Список исполнителей

Ответственный исполнитель,  
ведущий научный сотрудник,  
канд. геогр. наук



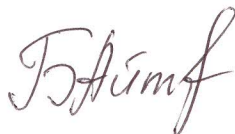
В.П. Попова  
Введение, разд. 1-2, заключение,  
программное средство

Ведущий научный сотрудник,  
канд. техн. наук, доцент



В.И. Ли  
Ведение, разд. 1-2, заключение,  
программное средство

Младший научный сотрудник



Б.Б. Айтымова  
Сбор данных, расчеты

Ведущий инженер



С.А. Ерисковский  
Программное средство, расчеты

## Реферат

Отчет 47 с., 1 рис., 8 табл., 51 источник.

МЕТОД РАСЧЕТА ВОДНОГО БАЛАНСА, ПРИТОК ВОДЫ, ПОТЕРИ СТОКА, ОСАДКИ, ПОПРАВКИ К ОСАДКАМ, ИСПАРЕНИЕ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, НЕВЯЗКА БАЛАНСА

Объектом исследования является водный баланс оз. Балхаш.

Цель работы – разработка метода расчета водного баланса оз. Балхаш и программного средства, позволяющего автоматизировать этот расчет.

Работа содержит реферативное обобщение имеющихся ранее методов расчета водного баланса оз. Балхаш и методические указания по расчету основных элементов и составлению водного баланса оз. Балхаш за год.

В методических указаниях описан расчет основных элементов водного баланса, с помощью программ. Приведено руководство пользователя и контрольный пример составления водного баланса оз. Балхаш за 2004 г.

## Мазмұндама

Есеп беру 47 б., 1 көрнекілік, 8 кесте, 51 пайдаланған әдебиеттер.

СУ БАЛАНСЫН ЕСЕПТЕУ ӘДІСІ, СУДЫҢ КЕЛУІ, СУ АҒЫНЫНЫҢ ШЫҒЫНЫ, ЖАУЫН-ШАШЫН, ЖАУЫН-ШАШЫНҒА ТҮЗЕТУЛЕР, СУ БЕТІНЕН БУЛАНУЫ, БАЛАНСТЫН ТУРА КЕЛМЕУІ.

Зерттеу объектісі-Балхаш көлінің су балансы.

Жұмыстың мақсаты- Балхаш көлінің су балансын есептеу әдісі және оны автоматтандыруға рұқсат беру, құрал –жабдықтар бағдарламасы бойынша.

Жұмыста Балхаш көлінің су балансын алғашқыда қолданылған есептеу әдістері келтірілген және оның бір жылдық су балансынын негізгі элементтерінің есептеулері және құрастырылуы әдістерінің нұсқауларынан тұрады.

Бағдарлама бойынша су балансынын, негізгі элементерін есептеуі әдістемелік нұсқауларда қарастырылған.Балхаш көлінің 2004 жылғы су балансын бақылау үлгісін құрастыру және пайдалану нұсқаулары берілген.



## Содержание

Введение .....	6
1 Краткий обзор предшествующих исследований .....	7
2 Методические указания по расчету годового водного баланса озера Балхаш .....	17
2.1 Уравнение водного баланса .....	17
2.2 Определение притока воды в оз. Балхаш .....	17
2.3 Определение поступления воды с атмосферными осадками .....	19
2.4 Расчет испарения с водной поверхности .....	22
2.5 Определение изменения объема воды .....	24
2.6 Инструкция пользователя .....	25
2.7 Контрольный пример расчета водного баланса озера Балхаш .....	32
Заключение .....	37
Список использованных источников .....	38
Приложение А Данные для расчета слоя испарения оз. Балхаша по метеорологическим станциям .....	42
Приложение Б Результаты расчета слоя испарения для оз. Балхаш .....	45

## Введение

В настоящем отчете помещены результаты работы научно-методической группы отдела гидропрогнозов ГМЦ РГП «Казгидромет». Цель исследований - усовершенствование метода расчета водного баланса оз. Балхаш. При этом решались следующие задачи - создание метода расчета водного баланса оз. Балхаш с использованием современных способов расчета отдельных его составляющих, автоматизация расчета водного баланса и отдельных его элементов с помощью программных средств, а также разработка инструкции пользователя.

Необходимость в таких исследованиях объясняется тем, что гидрологический режим рек впадающих в озеро и водный баланс оз. Балхаш значительно изменяются под воздействием природных и антропогенных факторов, а это в свою очередь влияет на экологическую обстановку в бассейне. Поэтому детальный анализ наблюдавшихся ранее и происходящих изменений в водном балансе озера представляет большой интерес для разработки эффективной системы мероприятий по улучшению экологии Прибалхашья.

В первом разделе отчета приведен обзор предшествующих исследований и проведен детальный анализ существующих методов оценки основных элементов водного баланса озера. Большой вклад в развитие исследований по водному балансу и отдельных его составляющих внесли А.П. Браславский и С.П. Шиварева, В.В. Голубцов и А.Н. Жиркевич, И.И. Скоцеляс и Л.П. Остроумова. За основу принята методика составления водного баланса предложенная И.И. Скоцелясом, в которую внесены некоторые усовершенствования по расчету притока воды в Восточный Балхаш и поступления с атмосферными осадками.

Во втором разделе приведены методические указания по расчету годового и месячного водного баланса озера и его отдельных элементов - определению и расчету притока воды в озеро - одной из основных составляющих его водного баланса, расчету атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера. Также приводится методика расчета испарения с поверхности озера, расчет изменения объема воды. В разделе приведена инструкция пользователя, в которой дано подробное описание и порядок вычислений всех составляющих элементов баланса и самого баланса в целом. В инструкции приведено описание программных средств, разработанных ранее и в рамках данного отчета, помещен контрольный пример расчета водного баланса озера.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИАЦ «РФГЗ» за своевременное представление необходимых материалов.

## 1 Краткий обзор предшествующих исследований

Озеро Балхаш - крупный бессточный водоем Казахстана, расположенный на стыке Центрального и Юго-Восточного регионов республики. При отметке уровня воды 342 м его длина 614 км, средняя ширина 30 км, средняя глубина 5,8 м. Площадь водосбора 413 тыс. км<sup>2</sup>. Часть этой площади находится в пределах Китайской Народной Республики.

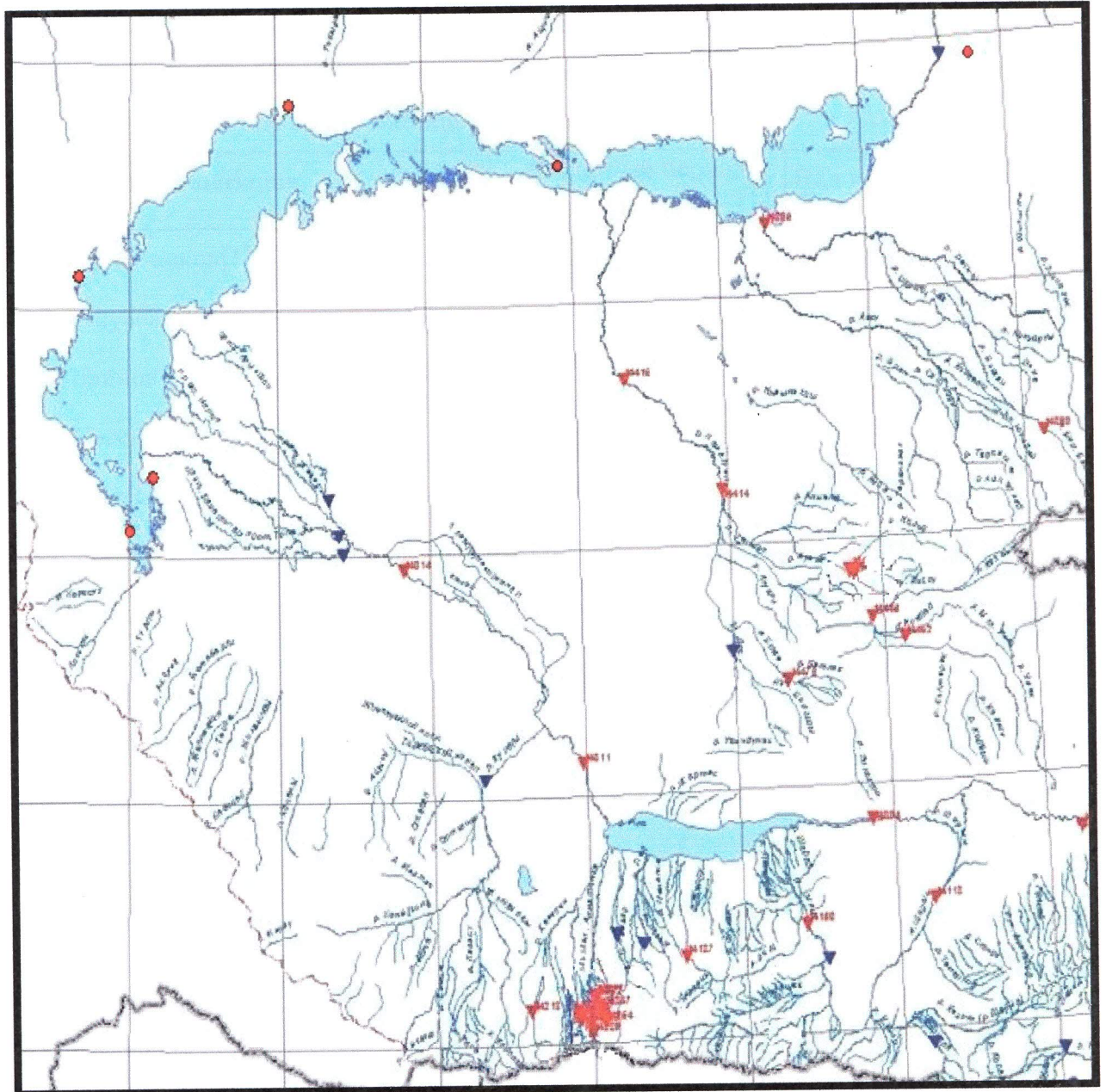
Озеро состоит из Западного и Восточного Балхаша, разделенных узким проливом Узунарал. В Западный Балхаш впадает река Или - самая крупная из всех водотоков, достигающих водоема. Притоками Восточного Балхаша являются реки Каратал, Лепсы, Аксу и Аягуз.

Впервые основные элементы водного баланса оз. Балхаш попытался оценить А. В. Шнитников [1]. Позже расчетами водного баланса этого водоема занимались Г.Р. Юнусов [2, 3], Л.К. Блинов и М.А. Буркальцева [4], М.Н. Тарасов [5], А.Н. Жиркевич [6], Т. Искендиоров [7], Р.Д. Курдин, Е.Г. Мельничукова и С.М. Мирошниченко [8], И.С. Соседов [4, 8], В.В. Голубцов и А.Н. Жиркевич [9], Институт озероведения АН СССР, О.К. Тленбеков [10], И.И. Скоцеляс, Л.П. Остроумова и А.Н. Жиркевич [11], КазНИИ Госкомгидромета с участием ГГИ [12], И.И. Скоцеляс [13-15], Л.П. Остроумова [16], Д.К. Джусупбеков [17]. Достаточно много работ посвящено также определению отдельных составляющих водного баланса озера [18-24 и др.].

Во всех упомянутых работах приведены водные балансы за разные промежутки времени (таблица 1), относившиеся к так называемому условно-естественному периоду. Этот период закончился в 1969 году. Для него характерным было сравнительно небольшое влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы в бассейне и водный баланс озера. В изменениях последнего самую значительную роль в то время играли чередования многоводных и маловодных периодов на реках, обусловленные естественными колебаниями климата. Эти чередования водности рек нашли свое отражение и в составленных балансах разными исследователями, поскольку расчеты производились не для одних и тех же временных отрезков времени. Некоторые различия связаны также с использовавшимися методиками определения составляющих водного баланса и наличием исходных данных к моменту его составления.

Начиная с 70-х годов прошлого столетия, в результате возросшего воздействия антропогенных нагрузок на водные ресурсы бассейна, особенно вследствие аккумуляции воды в Капшагайском водохранилище в период его первоначального заполнения и регулирования им стока р. Или, водный баланс оз. Балхаш значительно изменился по срав-





• - метеорологическая станция

▼ - гидрологический пост

Рисунок 1 Схема Бассейна оз. Балхаш

нению с естественными условиями. Рассчитанные балансы для изменившихся условий приведены в работах [11-17]. Периоды, за которые они составлены, указаны в таблице 1.

Таблица 1.1 - Периоды и вид водных балансов оз. Балхаш, составленных разными авторами и организациями

Автор или организация	Расчетный период (годы)	Вид водного баланса
А.В. Шнитников[1]	1913-1917	Средний за период
Г.Р. Юнусов [2]	1911-1946	То же
Л.К. Блинов и М.А. Буркальцева [4]	1941-1947	“
И.С. Соседов [4, 8]	1935-1954	“
М.Н. Тарасов [5]	1935-1954	“
А.Н. Жиркевич [6]	1911-1966	“
Т. Искендиоров [7]	1934-1965	Средний за период и по годам
Р.Д. Курдин, Е.Г. Мельничукова, С.М. Мирошниченко [8]	1946-1966	То же
В.В. Голубцов и А.Н. Жиркевич [9]	1911-1969	“
О.К. Тленбеков [10],	1911-1969	Средний за период
Институт озераведения АН СССР	1936-1969	То же
КазНИИ Госкомгидромета и ГГИ [11]	1937-1969, 1970-1983	Средние за периоды и по годам
И.И. Скоцеляс, Л.П. Остроумова, А.Н. Жиркевич [12],	1970-1983	“
И.И. Скоцеляс [13]	1937-1969, 1970-1985	То же
И.И. Скоцеляс [14]	1937-1969, 1970-1987	Средние за периоды
И.И. Скоцеляс [15]	1937-1969, 1970-1987, 1988-1995,	То же
И.И. Скоцеляс, В.П.Попова, Т.Г. Гор- кунова [51]	1937-1969,1970-2000	Средние за периоды и по годам
Л.П. Остроумова [16]	1937-1987	“
Д.К. Джусупбеков [17]	1937-1969, 1970-1987, 1988-2000	“



Из таблицы 1 видно, что в большинстве опубликованных работ помещены средние водные балансы за принятые расчетные периоды. Детализация по годам дана лишь в [7-9] для естественных и в [11, 13] для нарушенных хозяйственной деятельностью условий. Кроме этого, за отдельные годы составлялись водные балансы Казгидрометом и публиковались в серии “Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши” Государственного водного кадастра.

В большинстве предшествующих исследований наряду с расчетами водного баланса озера в целом производилась также оценка его отдельно для западной и восточной частей. Первые такие балансы составил Г.Р. Юнусов [2].

Самый ранний год, за который имеются опубликованные ежегодные сведения о водном балансе озера, - 1911-й, а наиболее поздний - 1985-й. При этом лучше всего необходимы гидрологическими и метеорологическими данными наблюдений в районе озера и на его акватории, использовавшимися при расчетах балансов, освещен период, начиная с 1937 года. В частности, за предшествующие ему годы часто отсутствовали измерения уровня воды в водоеме. За неимением фактических данных об уровне воды последние восстанавливались расчетным путем. Преимущественно скудной была и другая информация. Все это в определенной мере влияло на точность оценки как отдельных составляющих, так и ежегодных водных балансов в целом.

Основной элемент приходной части водного баланса озера - приток поверхностных вод. Трудность его определения состоит в том, что постоянные измерения стока рек в течение большинства лет производятся на постах, располагающихся на значительном удалении от Балхаша. На р. Или - это посты в уроч. Капшагай (ранее в 37 км ниже раб. пос. Или) и у с. Ушжарма, на реках, впадающих в восточную часть озера, - вблизи от выхода их из гор. Данные по стоку на них не характеризуют фактический приток поверхностных вод в озеро, так как на нижерасположенных участках рек происходят изменения стока. Особенно значительные изменения последнего отмечаются в дельте р. Или. В то же время наблюдения, проводившиеся за стоком в нижней части дельты, охватывают только 1957-1960, 1968-1995 годы, а в дельтах других рек и вовсе отсутствуют. При этом данные по стоку на выходе из дельты Или имеются далеко не за все полные календарные годы и лишь отдельные из них достаточно полно учитывают его.

В некоторых предшествовавших исследованиях водного баланса Балхаша, например в производившихся Казгидрометом, изменение стока в дельте р. Или либо вообще не принималось во внимание, либо для его расчета использовались приближенные зависимости от стока в вершине дельты, полученные по небольшому количеству фактических данных. Только в 80-е годы прошлого века появилась возможность на основе детального ана-

лиза накопившейся к тому времени информации по нижней части дельты Или предложить более обоснованный способ определения потерь стока на участке уроч. Капшагай - оз. Балхаш, учитывающий одновременно сток в уроч. Капшагай, его внутригодовые изменения и взаимосвязь дельты с озером. Этот способ разработан в КазНИИ Госкомгидромета (ныне КазНИИМОСК) и в окончательном виде [14, 26] сводится к расчету потерь по формуле

$$P=2,5 (1,92 - 1,20 C_v) \cdot (0,15 V - 1,03) \cdot [1 + \exp(3,75 H_n - 9,95)]^{-1} \cdot k, \quad (1.1)$$

где  $P$  - потери р. Или на участке уроч. Капшагай - оз. Балхаш, км<sup>3</sup>/год;

$C_v$  - коэффициент вариации среднемесячных расходов воды р. Или в уроч. Капшагай;

$V$  - годовой объем стока р. Или в уроч. Капшагай, км<sup>3</sup>/год;

$H_n$  - уровень воды над нулем графика на начало года в оз. Балхаш, м;

$k$  - коэффициент, учитывающий степень уменьшения водоотдачи по мере истощения запасов воды в дельте р. Или.

При определении параметров формулы (1.1) принималось также во внимание, что сток в нижней части дельты в указанное выше время не всегда учитывался действовавшими постами полностью и что внутри дельты, в том числе на выходе из нее, время от времени происходит перераспределение стока по протокам. Подробнее этот вопрос рассмотрен в работах [14, 27].

Методика оценки притока поверхностных вод в Восточный Балхаш, производившейся некоторыми исследователями, не известна. В тех же работах, в которых имеются такие сведения, для его определения в первую очередь обычно использовались данные наблюдений за стоком на речных постах, расположенных ближе к озеру. Это следующие посты: р. Каратал - с. Раздольное, р. Каратал - 10 км от устья, р. Лепсы - подхоз Лепсы, р. Аксу - центральная база свх Кызылтан, р. Аксу - МТФ подхоза Лепсы, р. Аксу - 3,5 км от устья, р. Аягуз - пос. Каратас. При отсутствии наблюдений на них расчет осуществлялся по корреляционным связям, полученным за годы параллельных наблюдений на этих и расположенных выше постах или на реках - аналогах.

Как правило, в предшествующих исследованиях из-за отсутствия достоверных данных не учитывался приток воды с береговой полосы. Только М. Н. Тарасов и О. К. Тленбеков условно принимали его соответственно равным 0,09 и 0,10 км<sup>3</sup>/год.

В естественных условиях, по А.В. Шнитникову, приток поверхностных вод в оз. Балхаш в среднем составлял 20,00 км<sup>3</sup>/год, по Л.К. Блинову и М.А. Буркальцевой, - 19,14



км<sup>3</sup>/год, по результатам остальных исследований находился в пределах 13,65...14,99 км<sup>3</sup>/год. Диапазоны его средних оценок для основных частей озера оказались следующими: 10,37...11,85 - для Западного и 2,80...3,57 км<sup>3</sup>/год - для Восточного Балхаша. Наибольший приток в озеро в отдельные многоводные годы превышал 19,0 км<sup>3</sup>/год, а в 1960 году, согласно [13], достиг максимального значения, равного 22,46 км<sup>3</sup>/год. Наименьший приток, по [9], пришелся на 1918 год и составил 8,49 км<sup>3</sup>/год. В Западный Балхаш больше всего воды поступало также в 1960 году - 17,15 км<sup>3</sup>/год.

В изменившихся условиях под влиянием хозяйственной деятельности средний приток за рассматривавшиеся периоды находился в пределах 11,83...11,99 км<sup>3</sup>/год, в том числе в Западном и Восточном Балхаше соответственно 9,30 и 2,53 км<sup>3</sup>/год [13]. При этом в 70-е и в течение большей части 80-х годов прошлого века в основном преобладала тенденция его уменьшения. Так, если в 1971 году он был равен 15,82 км<sup>3</sup>/год, то в 1983 году сократился до 8,69 км<sup>3</sup>/год [13].

Неоднократно изменялось представление о подземном притоке воды в озеро. В работе У.М. Ахмедсафина и С.М. Шапиро [18], например, отмечено, что, по мнению разных исследователей, величина этого притока в среднем составляла от 4...5 до 0,2...0,3 км<sup>3</sup>/год. По последним исследованиям Института гидрогеологии и гидрофизики Академии наук Казахской ССР [11], общий подземный приток в Балхаш значительно меньше - всего 0,01 км<sup>3</sup>/год, из него 0,007 в Западный и 0,003 км<sup>3</sup>/год в Восточный. В то же время подземный отток из озера при отметках уровня воды в нем выше 341 м равен 0,448 км<sup>3</sup>/год., а при отметках уровня ниже 341 м в два раза меньше, в том числе из Западного Балхаша соответственно 0,380 и 0,190, из Восточного - 0,068 и 0,034 км<sup>3</sup>/год.

Слой атмосферных осадков определялся в основном как среднее арифметическое из данных наблюдений на прибрежных метеорологических станциях и островной станции Алгазы. При этом в некоторых работах в связи с недоучетом осадков измерительными приборами в показания последних вводились поправки. Наиболее обоснованная из использовавшихся методик введения поправок разработана в Государственной геофизической обсерватории (ГГО) и КазНИИ Госкомгидромета [28].

Еще Г.Р. Юнусов обратил внимание, что в прилегающих к Балхашу районах годовые суммы атмосферных осадков и их изменчивость возрастают с запада на восток, а в направлении с юго-запада на северо-восток увеличивается скоррелированность между ними [2]. Учитывая это, в работе [29] разработана более современная методика определения слоя атмосферных осадков, основанная на использовании метода линейной оптимальной интерполяции. Данная методика совместно с методикой ГГО-КазНИИ для введения поправок применялись при расчетах водных балансов в работах [11-16]. Средний слой

осадков по этой методике за 1937-1969 годы 200 мм, в том числе 186 для Западного и 220 мм для Восточного Балхаша. Объемы выпавших осадков за указанный период в среднем составили соответственно 3,60, 1,96 и 1,64 км<sup>3</sup>/год. За 1970-1983 годы значения слоев осадков оказались следующими: 192 мм для Балхаша в целом, 183 мм для Западного и 205 мм для Восточного Балхаша. В отдельные годы слой осадков, выпавших на поверхность озера, изменялся от 140 до 273 мм.

Сравнение приведенных данных с результатами, полученными другими исследователями, в частности, показало, что слои осадков для оз. Балхаш, рассчитанные Г.Р. Юнусовым, И.С. Соседовым, М.Н. Тарасовым, занижены почти в два раза, В.В. Голубцовым и А.Н. Жиркевичем, Р.Д. Курдиным, Е.Г. Мельничуковой и С.М. Мирошниченко - на 46-48 мм.

Основным элементом расходной части водного баланса озера является испарение с водной поверхности. Его среднемноголетний слой, по разным оценкам, находится в пределах 930...1178 мм. Достаточно широкий диапазон изменения оценок этого элемента водного баланса объясняется в основном различиями в применявшихся методиках расчетов. Наиболее физически обоснованной в настоящее время является методика, разработанная А.П. Браславским [30, 31] и в дальнейшем усовершенствованная Л.П. Остроумовой для водоемов со сложной конфигурацией [32, 33]. Эта методика представляет собой двухслойную модель процесса испарения с водной поверхности. Приводная часть атмосферы в ней подразделяется на тонкий вязко-буферный и турбулентный слои, в которых соответственно происходят свободная и вынужденная конвекция. Модель учитывает взаимодействие обоих видов конвекции. В других методиках наличие свободной конвекции не принимается во внимание.

Основное выражение для расчета слоя испарения с помощью модели, предложенной А.П. Браславским, имеет вид:

$$E = [1/(K_0^{-1} + K^{-1})] \Delta e \cdot \tau, \quad (1.2)$$

- где  $E$  - испарение с водной поверхности, мм;  
 $K_0$  - коэффициент, характеризующий интенсивность испарения в вакууме  
 $\Delta e$  - разность парциального давления воздуха на верхней границе вязко-буферного слоя и на высоте 2 м, гПа.  
 $\tau$  - расчетный интервал времени.

$$K = f_1(Re) + f_2(Re) * f_3(Gr) \quad (1.3)$$

где  $Re$  - число Рейнольдса;

$Gr$  - Число Грасгофа;

Значения  $Re$  и  $Gr$  вычисляется с помощью выражений:

$$Re = \frac{eU}{\nu}, \quad (1.4)$$

$$Gr = g\beta \frac{e^3}{\nu^2} \Delta t, \quad (1.5)$$

где  $e$  - характерный размер, принимаемый равным 2 м в связи с определением метеорологических элементов на высоте 2 м над водоемом;

$U$  - скорость ветра на высоте флюгера, м/с;

$\nu$  - коэффициент климатической вязкости, м<sup>2</sup>/с;

$G$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\beta$  - температурный коэффициент объемного расширения;

$\Delta t$  - разность температур поверхности воды ( $t_n$ ) и воздуха ( $t_2$ ) над водной поверхностью, °С

Коэффициент  $\beta$  зависит от  $t_n$ . Эта зависимость имеет вид:

$$\beta = \frac{1}{273,2 + t_n}. \quad (1.6)$$

Слой испарения определяется по средним для всего озера величинам температуры и влажности воздуха, скорости ветра, нижней и общей облачности, которые рассчитываются по данным наблюдений на береговых метеорологических станциях с учетом трансформации характеристик натекающего воздуха [22, 31, 33].

Температура поверхности воды рассчитывается по уравнению теплового баланса водной массы оз. Балхаш:

$$t_k = t_n + \frac{S_p + S_a + S_r - S_{из} - S_{ис} - S_k}{C\rho H\sigma} + Q_a, \quad (1.7)$$

где  $t_k, t_n$  - температура поверхности воды в конце и начале расчетного интервала времени, °С;

$S_p$  и  $S_a$  - поглощенная водой суммарная солнечная радиация и встречное излучение атмосферы;

$S_r$  - теплообмен водной массы с грунтом дна;



- $S_{из}$  - тепловое излучение водной поверхности;  
 $S_{ис}, S_k$  - теплоотдача соответственно путем испарения и турбулентной конвекции;  
 $C$  - теплоемкость воды;  
 $\rho$  - объемный вес воды;  
 $\mu$  - отношение средней температуры водной массы к температуре поверхности воды;  
 $H_{ср}$  - средняя глубина водоема;  
 $Qa$  - адвекция тепла.

Формулы для расчета составляющих теплового баланса приведены в работе [24].

Существенным преимуществом модели по сравнению с другими методиками является также предусмотренная ретрансформация температуры и влажности воздуха, измеренных на прибрежных метеорологических станциях и искаженных влиянием водоемов. Это позволяет для определения испарения с водной поверхности использовать не только данные наблюдений на континентальных станциях, но и на прибрежных и островных.

При составлении водного баланса оз. Балхаш модель А.П. Браславского использовалась в работах [11-16]. В связи с изложенным выше и, принимая во внимание результаты оценки различных методик расчета испарения, проводившейся А.П. Браславским и Л.П. Остроумовой [34], можно полагать, что из всех предшествующих исследований именно в этих работах его величина определена наиболее точно. Так, согласно [13], годовые объемы испарения с озера в течение 1937-1985 годов находились в пределах 14,51...20,80 км<sup>3</sup>/год. Для Западного и Восточного Балхаша диапазоны изменения соответственно составляли 9,04...12,18 и 5,97...8,62 км<sup>3</sup>/год.

Предшествующие исследования показали, что основной причиной нарушения естественного водного баланса оз. Балхаш является создание Капшагайского водохранилища. Влияние водохранилища особенно отчетливо проявилось в уменьшении притока поверхностных вод в Западный Балхаш и относительном росте потерь воды в дельте р. Или по сравнению с условно-естественным периодом, что обусловило резкое понижение уровня воды в озере и значительное ухудшение экологической обстановки. Это, в частности, отмечено в работах [13-16].

Из приведенного краткого обзора предшествующих исследований водных балансов озера и основных его частей следует:

- периоды, за которые производились расчеты водных балансов, и использовавшиеся методики разные, вследствие чего результаты исследований иногда существенно отличаются;

- в большинстве работ помещены только средние балансы за рассматривавшиеся периоды;

- совсем отсутствуют оценки ежегодных водных балансов за последние полтора десятка лет;

- на водный баланс озера сильно повлияло увеличение антропогенных нагрузок на водные ресурсы в бассейне и особенно создание Капшагайского водохранилища.

## 2 Методические указания по расчету годового водного баланса озера Балхаш

### 2.1 Уравнение водного баланса

Для расчетов ежегодных водных балансов оз. Балхаш и его основных частей приняты следующие уравнения:

$$V_{\text{пов}} + V_{\text{подз}} + V_{\text{x}} - V_{\text{и}} - V_{\text{ф}} = \Delta W, \quad (2.1)$$

$$V_{\text{пов.З}} + V_{\text{подз.З}} + V_{\text{x.З}} - V_{\text{и.З}} - V_{\text{ф.З}} - Y = \Delta W_{\text{З}}, \quad (2.2)$$

$$V_{\text{пов.В}} + V_{\text{подз.В}} + V_{\text{x.В}} - V_{\text{и.В}} - V_{\text{ф.В}} + Y = \Delta W_{\text{В}}, \quad (2.3)$$

- где  $V_{\text{пов}}$  - приток поверхностных вод в озеро, км<sup>3</sup>/год;  
 $V_{\text{подз}}$  - приток подземных вод в озеро, км<sup>3</sup>/год;  
 $V_{\text{x}}$  - атмосферные осадки, выпавшие на водное зеркало, км<sup>3</sup>/год;  
 $V_{\text{и}}$  - испарение с водной поверхности, км<sup>3</sup>/год;  
 $V_{\text{ф}}$  - отток воды (фильтрация) в берега, км<sup>3</sup>/год;  
 $\Delta W$  - изменение объема воды в озере за год, км<sup>3</sup>/год;  
 $Y$  - воднобалансовый переток воды из Западного Балхаша в Восточный, км<sup>3</sup>/год;  
 $З, В$  - индексы, означающие, что составляющие относятся соответственно к уравнениям для Западного и Восточного Балхаша.

### 2.2 Определение притока воды в оз. Балхаш

Приток поверхностных вод в Западный Балхаш в зависимости от наличия или отсутствия данных наблюдений в нижней части дельты р. Или может определяться двумя способами. По первому способу он принимается равным суммарному наблюдавшемуся стоку по протокам Ир, Или, Шубар-Кунан и Нарын, достигающим оз. Балхаш. При этом дополнительно учитывается также сток, осуществлявшийся и по другим протокам, для чего используется формула

$$Q''_{\text{р}} = 0,186 Q'_{\text{р}} \exp(0,023 Q'_{\text{р}}) - Q_{\text{ш}}, \quad (2.4)$$

где  $Q''_{\text{р}}$  - неучитываемый измерениями месячный русловой сток на выходе из дельты,

м<sup>3</sup>/с;

$Q'_p$  - суммарный месячный сток по упомянутым основным протокам, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{ш}$  - месячный сток по протоке Шубар-Кунан в 1,5 км выше устья, м<sup>3</sup>/с.

Формула (2.4) получена по стоку в годы с достаточно полным его учетом, а применяется, когда информация по второстепенным протокам отсутствовала.

Второй способ используется для определения притока поверхностных вод в Западный Балхаш в следующих случаях:

- если измерения стока на протоках Ир, Или, Шубар-Кунан и Нарын не производились;

- если такие измерения были, но в них имели место пропуски, которые с достаточной точностью восстановить оказалось невозможным.

В этих случаях приток поверхностных вод рассчитывается по уравнению

$$V_{\text{пов.з}} = V - P, \quad (2.5)$$

где  $V$  - объем стока р. Или в урочище Капшагай, км<sup>3</sup>/год;

$P$  - изменение (потери) стока на участке уроч. Капшагай - оз. Балхаш, км<sup>3</sup>/год.

Объем стока р. Или в урочище Капшагай определяется по данным наблюдений Гидрометслужбы на посту р. Или - уроч. Капшагай (37 км ниже раб. пос. Или), а изменение стока на указанном участке - по формуле, разработанной в КазНИИ Госкомгидромета (ныне КазНИИЭЖ) /14, 26/

$$P = 2,5 (1,92 - 1,20 C_v) \cdot (0,15 V - 1,03) \cdot [1 + \exp(3,75 H_n - 9,95)]^{-1} \cdot k, \quad (2.6)$$

где  $P$  - потери р. Или на участке уроч. Капшагай - оз. Балхаш, км<sup>3</sup>/год;

$C_v$  - коэффициент вариации среднемесячных расходов воды р. Или в уроч. Капшагай;

$V$  - годовой объем стока р. Или в уроч. Капшагай, км<sup>3</sup>/год;

$H_n$  - уровень воды над нулем графика на начало года в оз. Балхаш, м;

$k$  - коэффициент, учитывающий степень уменьшения водоотдачи по мере истощения запасов воды в дельте р. Или.

При определении параметров формулы (2.6) принималось также во внимание, что сток в нижней части дельты в указанное выше время не всегда учитывался действовавшими постами полностью и что внутри дельты, в том числе на выходе из нее, время от времени происходит перераспределение стока по протокам. Подробнее этот вопрос рассмотрен в работах /14, 27/.



Приток поверхностных вод в Восточный Балхаш рассчитывается по данным наблюдений на постах р. Каратал - с. Раздольное, р. Лепсы - подхоз Лепсы, р. Аксу - центр. база свх Кызылтан (МТФ подхоза Лепсы), р. Аягуз - пос. Каратас.

При отсутствии наблюдений на перечисленных постах сток на них определяется по следующим эмпирическим формулам:

$$Q_{\text{раз}} = 0,727 Q_{\text{уш}} + 16,1, \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{к}} = 0,42 Q_{\text{л}} + 0,46 \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{к}} = 0,36 Q_{\text{л}} + 2, \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{кар}} = 1,635 Q_{\text{т}} - 2,62, \quad (2.10)$$

где  $Q_{\text{раз}}$ ,  $Q_{\text{уш}}$ ,  $Q_{\text{к}}$ ,  $Q_{\text{л}}$ ,  $Q_{\text{кар}}$ ,  $Q_{\text{т}}$  - соответственно средние годовые расходы воды р. Каратал у с. Раздольное, р. Каратал у г. Уштобе, р. Аксу у центр. базы свх Кызылтан (МТФ подхоза Лепсы), р. Лепсы у подхоза Лепсы, р. Аягуз у пос. Каратас, р. Каракол у с. Таскелен.

В связи с закрытием поста Аксу у центр. базы свх Кызылтан (МТФ подхоза Лепсы) ежемесячные значения стока по этому посту восстанавливаются. При этом принимается гипотеза о равенстве модульных коэффициентов стока рек Аксу и Каратал. Восстановление предусмотрено программно. Сток рек р. Аягуз у пос. Каратас и р. Каракол у с. Таскелен в первом приближении компенсируют потери на орошение.

Подземный приток в Балхаш принимается, основываясь на результатах исследований, проводившихся Институтом гидрогеологии и гидрофизики Академии наук Казахской ССР [18]. При этом были сделаны округления, после которых приток в водоем в целом получился  $0,80 \text{ км}^3/\text{год}$ . В месячных балансах подземный приток рассчитывается пропорционально поверхностному стоку.

### 2.3 Определение поступления воды с атмосферными осадками

Атмосферные осадки, выпадавшие на зеркало озера, определяются по формулам, полученным с помощью метода оптимальной линейной интерполяции [29] и имеющим следующий вид:

$$X_{\text{В}} = X^*_1 = 0,629 X_{\text{А}} + 0,357 X_{\text{АК}-2} \quad (2.12)$$

$$X_{\text{З}} = 0,479 X^*_2 + 0,521 X^*_3, \quad (2.13)$$

- где  $X_B$  - слой атмосферных осадков, выпадающих за год на зеркало Восточного Балхаша, мм;
- $X_1^*$  - слой атмосферных осадков в центре тяжести Восточного Балхаша, мм;
- $X_A$  - Годовая сумма атмосферных осадков по наблюдениям на метеорологической станции Алгазы, мм;
- $X_{AK}$  - то же по станции Актогай;
- $X_3$  - слой атмосферных осадков, выпадающих за год на зеркало Западного Балхаша, мм;
- $X_2^*$  - слой атмосферных осадков в центре тяжести южной части Западного Балхаша, мм;
- $X_3^*$  - то же в северной части Западного Балхаша.

Слои осадков в южной и северной частях Западного Балхаша рассчитываются по формулам

$$X_2^* = 0,565 X_K + 0,467 X_C - 9, \quad (2.14)$$

$$X_3^* = 0,578 X_B + 0,308 X_C + 16, \quad (2.15)$$

- где  $X_K$  - Годовая сумма атмосферных осадков по наблюдениям на метеорологической станции Куйган, мм;
- $X_C$  - то же по станции Сарышаган;
- $X_B$  - то же по станции ОГМО Балхаш, мм.

Слой осадков для озера в целом вычисляется как средневзвешенный из  $X_B$  и  $X_3$  с учетом площадей Западного и Восточного Балхаша в общей площади водоема.

Если отсутствуют наблюдения на станциях Актогай и Сарышаган для определения осадков в центрах тяжести используются полученные тем же способом формулы

$$X_1^* = 0,852 X_A + 35, \quad (2.16)$$

$$X_2^* = 0,708 X_K + 41, \quad (2.17)$$

$$X_3^* = 0,666 X_B + 49, \quad (2.18)$$

Если нет наблюдений на станции ОГМО Балхаш, расчет слоя осадков для Западного Балхаша производится по формуле

$$X_3 = 0,93 X_2^* + 49. \quad (2.19)$$

При расчете слоя атмосферных осадков по приведенным формулам в данные наблюдений на метеорологических станциях вводятся поправки на смачивание, испарение и ветровой недоучет, которые определяются по методике ГГО-КазНИИ [28]. Методика достаточно трудоемка, так как поправки вводятся в срочные наблюдения, которые проводятся 2 раза в сутки при наличии осадков. Для облегчения этого процесса предложен способ введения данных поправок к измеренным месячным суммам осадков для используемых метеорологических станций. В таблице 2.1 представлены схемы введения поправок для жидких (март-ноябрь) и твердых (январь, февраль, декабрь) осадков.

Таблица 2.1 – Схемы введения поправок к измеренным осадкам

Метеостанция	Уравнение	R	Примечание
Актогай	$X=1,48X_{AK} + 0,91$	0,970	Для твердых осадков
	$X=1,17X_{AK} + 1,76$	0,986	Для жидких осадков
Сарышаган	$X=1,76X_C - 2,35$	0,931	Для твердых осадков
	$X=1,096X_C + 0,77$	0,976	Для жидких осадков
Куйган	$X=1,53X_K - 0,17$	0,991	Для твердых осадков
	$X=1,13X_K + 1,94$	0,995	Для жидких осадков
Алгазы	$X=1,74X_A - 0,81$	0,988	Для твердых осадков
	$X=1,08X_A + 1,64$	0,982	Для жидких осадков
Балхаш	$X=1,68X_B + 3,14$	0,981	Для твердых осадков
	$X=1,17X_B + 3,02$	0,966	Для жидких осадков

Порядок расчета слоя осадков для озера таков:

- а) сбор данных месячных сумм осадков по метеорологическим станциям Актогай, Сарышаган, Куйган, Алгазы, Балхаш и занесение их в таблицу;
- б) ввод поправок к измеренным суммам (по таблице 1);
- в) расчет слоя осадков для Восточного (12) и Западного Балхаша (13-15);
- г) расчет слоя осадков для озера Балхаш как средневзвешенного из  $X_3$  и  $X_B$  с учетом долей площадей Западного и Восточного Балхаша в общей площади водоема;
- д) расчет объема поступления воды с атмосферными осадками.

Все расчеты проводятся по программе в среде EXCEL.



## 2.4 Расчет испарения с водной поверхности

Испарение с водной поверхности рассчитывалось по температуре поверхности воды, определявшейся методом теплового баланса. Для этого использовались программное средство, разработанное в КазНИИМОСК на основе двухслойной модели испарения, и данных наблюдений на прибрежных метеорологических станциях.

Основное выражение для расчета слоя испарения с помощью модели, предложенной А.П. Браславским, имеет вид:

$$E = [1/(K_0^{-1} + K^{-1})] \Delta e \cdot \tau, \quad (2.20)$$

- где  $E$  - испарение с водной поверхности, мм;  
 $K_0$  и  $K$  - соответственно интегральные коэффициенты массообмена вязко-буферного слоя и атмосферы над ним, мм/(сут · гПа);  
 $\Delta e$  - разность парциального давления воздуха на верхней границе вязко-буферного слоя и на высоте 2 м, гПа.  
 $\tau$  - расчетный интервал времени.

Существенным преимуществом модели по сравнению с другими является предусмотренная ретрансформация температуры и влажности воздуха, измеренных на прибрежных метеорологических станциях и искаженных влиянием водоемов. Это позволяет для определения испарения с водной поверхности использовать не только данные наблюдений на континентальных станциях, но и на прибрежных и островных.

Расчет испарения с водной поверхности автоматизирован [30, 50]. Он проводится по программе «ISPAR», разработанной в лаборатории гидрологических расчетов и прогнозов КазНИИМОСК. Для использования этой программы необходима следующая входная информация:

- название водоема, средняя широта его расположения в градусах, длина, ширина и средняя глубина;
- длины путей движения воздушных масс над водоемом по 8-и румбам;
- общее количество и перечень лет, для которых проводится расчет;
- название метеорологических станций;
- среднемесячные температуры и влажность (упругость водяного пара) воздуха, скорости ветра, общей и нижней облачности, скорости ветра и повторяемость его по 8-и румбам в процентах на данной метеорологической станции;
- среднемесячные температуры воды по данным измерений на акватории водоема;

- длина пути движения воздушных масс отдельно над водоемом и сушей по 8-и румбам для данной метеорологической станции;

- переходные коэффициенты от скорости ветра, измеренной на высоте флюгера, к ее величине на высоте 2 м над водной поверхностью;

- измеренные среднемноголетние температуры воды от месяца к месяцу.

Перечисленная информация формируется в отдельных файлах.

Кроме того, при расчете слоя испарения необходимы сведения о средней глубине, ширине и длине, которые рассчитываются по программе "HFVLS.EXE", при определении площади и объема озера. Остальные входные данные при расчетах слоя испарения не изменяются.

Список метеорологических станций и весовые коэффициенты, применявшиеся при осреднении результатов расчетов для акваторий Западного и Восточного Балхаша, приведены в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 - Весовые коэффициенты, использовавшиеся для оценки среднего слоя испарения с Западного Балхаша

Количество одновременно работавших станций	Метеорологическая станция				
	Куйган	ОГМО Балхаш	Чиганак	Сарышаган	Южный берег Балхаша
4	0,305	0,264	0,162		0,269
4	0,278	0,249	0,146	0,327	
3	0,401	0,341	0,258		
3	0,322	0,279		0,399	
3	0,396		0,252		0,352
3	0,354	0,312			0,324
2	0,548	0,452			

Порядок расчета слоя испарения для озера:

а) сбор данных о максимальной, минимальной и среднемесячной температуре воздуха, упругости водяного пара, скорости ветра, общей и нижней облачности и направления ветра по 8 направлениям.

б) расчет средней глубины и ширины водоема по данным о среднем уровне

б) расчет слоя испарения по отдельным метеорологическим станциям Западного и Восточного Балхаша

г) расчет слоя испарения для Восточного (таблица 2) и Западного Балхаша (таблица 3)

д) расчет объема испарения для озера Балхаш, как средневзвешенного из  $X_3$  и  $X_B$ , с учетом долей площадей Западного и Восточного Балхаша в общей площади водоема.

Таблица 2.3 - Весовые коэффициенты, использовавшиеся для оценки среднего слоя испарения с Восточного Балхаша

Количество одновременно работавших станций	Метеорологическая станция					
	ОГМО Балхаш	Сарышаган	Южный берег Балхаша	Алгазы	Бурлютобе	Актогай
4	0,094		0,215	0,341	0,350	
3	0,194		0,287	0,519		
3	0,158			0,435	0,407	
3	0,213			0,564		0,223
2	0,280			0,720		
2		0,324		0,676		

Расчеты слоя испарения для отдельных метеорологических станций проводятся по программе, написанной на языке Паскаль, дальнейшие расчеты в среде EXCEL.

В изложенной методике учтены наиболее обоснованные предложения по определению основных составляющих водного баланса оз. Балхаш. Поэтому в целом ее также можно считать достаточно обоснованной.

## 2.5 Определение изменения объема воды

Для определения фактического изменения объема водной массы ( $W$ ) за год необходимо знать уровень воды в озере на конец и начало года. Учитывая, что на озере наблюдаются перекосы водной поверхности, обусловленные сейшевыми и сгонно-нагонными явлениями, указанные уровни рекомендуется рассчитывать путем двойного осреднения уровней, измеренных на водомерных постах – по времени и по озеру. Осреднение по времени производится за период с 25.12 предшествующего года до 05.01 данного года и с 25.12 данного года до 05.01 следующего года.

Средние уровни воды оз. Балхаш вычисляются как средневзвешенные из уровней западной и восточной его частей с учетом весовых коэффициентов площади. Средний уровень Западного Балхаша рассчитывается как среднее по постам г. Балхаш и ж.-д. ст.



Мынарал, Восточного – о-в Алгзы. Весовой коэффициент площади Западного Балхаша 0,59, Восточного- 0,41 (1.21 ).

$$H_{\text{ср.взв.}} = \frac{(H_B + H_M)}{2} * 0,59 + H_A * 0,41 \quad (2.21)$$

Для расчета площадей и объемов Западного, Восточного Балхаша и озера в целом на конец месяца и года, а также средней глубины и ширины водоема используется программа «**HFVLS.EXE**», написанная на языке «PASCAL».

В качестве входных данных для этого расчета вводятся средние уровни воды на начало каждого месяца и среднегодовой уровень озера. *уровни в метрах.*

Площади и объемы могут определяться также по таблицам связи уровней соответственно с площадями и объемами для Восточной и Западной частей и озера в целом.

При отсутствии данных об уровнях по постам ж.-д. ст. Мынарал и о-в Алгзы за весь год средние годовые уровни озера можно восстановить соответственно по следующим корреляционным связям:

$$H_{\text{ср}} = 0,99 H_{\text{н}} + 0,02 V_{\text{пов}} - 0,19. \quad (2.22)$$

$$H_{\text{ср}} = 0,994 H_{5-11} + 0,014, \quad (2.23)$$

- где  $H_{\text{ср}}$  - средний годовой уровень воды в оз. Балхаш над нулем графика, см;  
 $H_{\text{н}}$  - уровень воды в озере на начало года, см;  
 $V_{\text{пов}}$  - приток поверхностных вод в озеро, км<sup>3</sup>/год;  
 $H_{5-11}$  - средний уровень по постам г. Балхаш, о-в Алгзы и ж.-д. ст. Мынарал за май - ноябрь, см.

## 2.6 Инструкция пользователя

Программный комплекс состоит из 3 отдельных модулей, предназначенных для расчета объемов, площадей и др. характеристик водоема по уровню воды («**HFVLS.EXE**»), слоя испарения с водной поверхности озера «**ISPAR**» и непосредственно расчету водного баланса оз. Балхаш за год «**BALANS**».



## **Работа с программой «HFVLS.EXE»**

С помощью данной программы проводится расчет площадей, объемов оз. Балхаш и его частей по месячным интервалам, средней глубины и ширины водоема за год.

Для работы с программой «HFVLS.EXE» необходимо запустить программу в среде WC или NC. На экране загорится запрос:

### **«ВВЕДИТЕ ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР ВОДОЕМА»**

Следуя подсказке, указывающей на № водоема

(1 - Западный Балхаш, 2 – Восточный Балхаш, 3 – оз. Балхаш)

вводим необходимый №. Далее на экране загорится запрос:

### **«ВВЕДИТЕ ГОД СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ПЕРИОДУ РАСЧЕТА»**

С клавиатуры вводится год расчета.

Следующий запрос:

### **«ВВОД ЗНАЧЕНИЙ УРОВНЯ ВОДОЕМА»**

**Если массив вводится с диска – 0, иначе 1.**

При вводе данных с диска необходимо ввести имя файла, со значениями уровней, которое должно содержать не более 8 латинских букв или цифр.

При ручном вводе:

с клавиатуры вводится значения уровня воды оз. Балхаш в метрах на 1 число каждого месяца рассчитываемого года, уровень на 1 января следующего года (всего 13 значений).

На экране загорается сообщение:

### **«ВВОД ЗНАЧЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНОГО УРОВНЯ ВОДОЕМА»**

При вводе данных с диска необходимо ввести имя файла, со значениями уровней, которое должно содержать не более 8 латинских букв или цифр.

При ручном вводе:

с пульта вводится значения среднемесячного уровня воды оз. Балхаш в метрах и среднегодовой уровень (всего 13 значений).

Далее на экране загорится сообщение:

### **«ЕСЛИ НЕОБХОДИМО ЗАПИСАТЬ НА ДИСК ВВЕДЕННЫЙ МАССИВ, НАЖМИТЕ 0, ИНАЧЕ 1»**

Массив желательно сохранить, во избежание повторного набора при расчете другой части озера, рекомендуем: H\_год (H2004\_01, H2004\_CP и т.д.)

### **«РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ЗАПИСАНЫ В ФАЙЛ»**

Для Западного Балхаша – H\_wbal,

для восточного Балхаша - H\_obal,

для оз. Балхаш - H\_bal.

Далее загорается сообщение:

**«ЕСЛИ НЕОБХОДИМО ПРОДОЛЖИТЬ РАСЧЕТ ДЛЯ ДРУГОГО ВОДО-  
ЕМА НАЖМИТЕ 0, ИНАЧЕ 1»**

При необходимости расчета для другой части необходимо нажать 0. (При этом, если данные уровней записаны в файл при первом расчете, нет необходимости их заносить заново, просто указывается имя файла).

Файл с результатами расчета вызывается в EXEL в среде MS DOS (PC – 8) и транспонируется построчно.

### ***Работа с программой «ISPAR»***

Программа расчета слоя испарения воды с поверхности озера по методу А.П. Бра-славского «ISPAR» выполняется после программы «HFVLS.EXE», так как последняя рассчитывает необходимые характеристики водоема на каждый год, ширину, глубину и длину в зависимости от уровня воды. Программа работает в среде NC.

Субдиректория «ISPAR» состоит из директорий:

**«B\_BALCHA» и «Z\_BALCHA»,**

которые служат для расчета слоя испарения с водной поверхности по данным метеорологических станций соответственно с Восточного и Западного Балхаша.

Каждая из названных директорий состоит из нескольких поддиректорий и файлов, содержащих необходимую для расчетов информацию:

Средняя температура поверхности воды Западного и Восточного по месяцам заносится в «TRT.DAN». Название файла соответствуют году расчета. Файлы корректируются, каждый год заносится фактическое значение температуры поверхности воды. В случае отсутствия данных используется средняя многолетняя температура поверхности воды.

«RT.DAN» составляется на основе данных о средней температуре воды (см. предыдущий абзац). В них записывается температура поверхности воды, снятая с хронологического графика. Файлы корректируются при наличии данных. При отсутствии данных берутся среднемноголетние значения.

В поддиректорию «AA.DAN» - заносятся метеорологические данные для конкретного года для метеорологических станций Восточного (AKTOGAI – Актогай, ALGAZI – Алгазы, BGMO – Балхаш) и Западного Балхаша (BGMO – Балхаш, SARICHAG – Сарышаган, KYIGAN – Куйган). Данные заносятся построчно для каждого месяца через пробел в следующем порядке: максимальная температура воздуха, средняя температура воздуха, минимальная температура воздуха, влажность воздуха (упругость водяного пара),

м/с балла

средняя скорость ветра на высоте флюгера, общая облачность, нижняя облачность, число случаев повторяемости ветра по 8 румбам (всего 15 значений в ряд, 12 рядов).

В поддиректории «**XMS.DAN**» заносится информация о путях движения над водоемом и сушей для метеорологических станций Восточного (**AKTOGAI** – Актогай, **ALGAZI** – Алгазы, **BGMO** – Балхаш) и Западного Балхаша (**BGMO** – Балхаш, **SARICSHAG** – Сарышаган, **KUYGAN** – Куйган).

Файл **g.dan** содержит число дней в месяцах года. Файл не корректируется.

Файл **g01.dan** – число дней в месяцах за безледоставный период. Файл не корректируется.

В файле **ks.dan** содержатся коэффициенты Симпсона. Файл не корректируется.

В файле **x.dan** занесены расстояния движения воздуха над водоемом. Файл не корректируется.

Файл **as.dan** содержит среднеголетние значения альбедо поверхности суши по месяцам. Файл не корректируется.

В поддиректории «**HARAKT.DAN**» содержатся характеристики водоема, необходимые для расчета слоя испарения с водной поверхности. Она подразделяется на 3 поддиректории для Восточного (**AKTOGAI** – Актогай, **ALGAZI** – Алгазы, **BGMO** – Балхаш) и 3 для Западного Балхаша (**BGMO** – Балхаш, **SARICSHAG** – Сарышаган, **KUYGAN** – Куйган). Данные заносятся в строчку, через пробел для отдельных метеорологических станций по годам. Всего 12 величин. Для каждого года каждой метеорологической станции необходимо создать свой файл. Имя файла соответствует номеру года.

1 - Название водоема вводится латинскими буквами, не более 8 символов. (**Z\_BALCH**) (**B\_BALCH**).

2 – **Hs** - средняя глубина водоема в м (- изменяемая величина, в зависимости от объема озера).

3 – **XDL** – длина водоема в км.

4 - **XCH** – средняя ширина водоема в км.

5 – **FR** – географическая широта расположения водоема в градусах. Величина не корректируется.

6 – **DA** – средняя многолетняя мутность воды: 0,03 – для замутненного водоема или 0 – для чистого, Балхаш относится к чистым водоемам. Величина не корректируется.

7 - **NPR** – наибольшее количество профилей, проложенных на плане водоема, для определения расстояний движения воздуха для метеорологических станций. Величина не корректируется.



8 – название метеорологической станции вводится латинскими буквами, не более 8 символов.

9 -WSR – средняя многолетняя скорость ветра за безледоставный период, м/с. Величина не корректируется.

10 - KF – переходные коэффициенты от скорости ветра на высоте флюгера к высоте 2-х м. Величина не корректируется.

11 - PA – среднее многолетнее атмосферное давление воздуха в гПа. Величина не корректируется.

12- ZM – высота метеорологической станции над уровнем моря в м. Величина не корректируется.

В файл **ways.dan** заносится путь

- d:\ispar\B\_BACHA\harakt.dan\BGMO\2004
- d:\ispar\B\_BACHA\g.dan
- d:\ispar\B\_BACHA\go1.dan
- d:\ispar\B\_BACHA\ks.dan
- d:\ispar\B\_BACHA\ac.dan
- d:\ispar\B\_BACHA\rt.dan\2004
- d:\ispar\B\_BACHA\x.dan
- d:\ispar\B\_BACHA\xms.dan\BGMO
- d:\ispar\B\_BACHA\tpb.dan\2004
- d:\ispar\B\_BACHA\aa.dan\BGMO\2004

Файл редактируется. Вначале расчет ведется для одной части оз. Балхаш, при этом меняется название метеорологических станций (название станции вводится строго в соответствии с названием поддиректорий), далее изменяется директория, в соответствии с частью озера, Z\_BACHA и расчет ведется для метеорологических станций Западного Балхаша. При этом также при каждом расчете меняем название метеорологической станции. В нашем случае расчет ведется для Восточного Балхаша для метеорологической станции Балхаш – BGMO – за 2004 год.

Корректировка файла осуществляется в режиме редактирования (для чего необходимо нажать клавишу **F4**), после внесения каких либо изменений файл необходимо сохранить при помощи нажатия клавиши **F2**.

В поддиректорию «**REZULTS**» - записываются результаты расчета слоя испарения, и состоит из поддиректории для Восточного Балхаша:

**AKTOGAI** – метеорологическая станция Актогай ,  
**ALGAZI** - Алгазы

**BGMO** – Балхаш

и для Западного Балхаша:

**BGMO** - Балхаш

**SARICHAG** - Сарышаган

**KYIGAN** – Куйган.

Слой испарения для метеорологической станции **BGMO** - Балхаш рассчитывается для Восточного и Западного Балхаша, так как она расположена в средней части озера.

Внутри поддиректорий формируются файлы с результатами расчета. Имя файла соответствует номеру года.

В начале работы с программой редактируем необходимые файлы, затем запускаем программу расчета. Последовательно ведем расчет слоя испарения для Западного и Восточного Балхаша (очередность не имеет значения), изменяя названия метеорологических станций в файле **ways.dan**. При выполнении программы необходимо следовать подсказкам, появляющимся на экране. При необходимости расчет можно повторить. Для расчета объема испарения используется слой испарения с водной поверхности, рассчитанный по методу теплового баланса.

### ***Программа «BALANS»***

Программа **«BALANS»** написана в среде «Excel» и предназначена для расчета основных элементов и составления водного баланса оз. Балхаш, выполняется в последнюю очередь, после программ **«HFVLS.EXE»** и **«ISPAR»**.

Программа расположена на нескольких листах.

На листе **«Поступление»** проводится расчет поверхностного притока воды в западную часть озера по р. Или и восточную часть - Каратал, Лепсы, Аксу, потерь в дельте р. Или и подземного притока в озеро. Необходимо заполнять поле, выделенное желтым цветом, куда заносятся исходные данные:

среднемесячный сток по р. Или - г. Капчагай, р. Каратал - Наймансуек, р. Лепсы – пдх. Лепсы.

Далее рассчитывается объем поступления по месяцам р. Или – г. Капчагай. Для расчета притока воды в Восточный Балхаш программно восстанавливается сток р. Аксу у центр. базы свх Кызылтан. Затем ведется расчет объема притока по месяцам.

Величина подземного притока также программно рассчитывается ежемесячно пропорционально поверхностному притоку.

Величины объемов поверхностного притока в Западный и Восточный Балхаш, а также объем подземного притока программно посылаются на лист **«Водный баланс»**.

Расчет объема осадков проводится на листе «**Осадки**». Исходная информация месячные значения осадков заносится по метеорологическим станциям, в поле, выделенное желтым полем. Кроме того, необходимо занести значения площадей Восточного и Западного Балхаша по результатам расчета программы «**HFVLS.EXE**». Далее программно значения осадков вводятся поправки и проводится расчет объема поступления воды с осадками помесечно, согласно изложенной ранее методики (раздел 2.3). Строка с результатами расчета посылается на лист «**Водный баланс**».

Расчет объема испарения с водной поверхности проводится на листе «**Испарение**». Исходные данные - значения слоя испарения для метеорологических станций, рассчитанные по программе «**ISPAR**» заносятся на лист в желтое поле. Значения площадей Восточного и Западного Балхаша, полученные по результатам расчета программы «**HFVLS.EXE**» обновляются, так как ранее были занесены на лист «**Осадки**». Расчет среднего слоя испарения и объема испарения с поверхности озера проводится программно, с учетом изложенной ранее методики (раздел 2.4). Строка с результатами расчета посылается на лист «**Водный баланс**».

Непосредственно расчет баланса проводится на листе «**Баланс**». Исходные данные – объем водохранилища на 1 число каждого месяца года заносятся в поле, выделенное желтым цветом. Остальная информация пересылается с других листов. На данном листе проводится расчет приходной и расходной частей баланса, их разность, также считается изменения объема озера за месяц и год, определяется абсолютная и относительная невязка баланса.

Невязка  $H$  определяется по уравнению

$$\sum P_p - \sum P - \sum A = H \quad (2.24)$$

где  $\sum P_p, \sum P, \sum A$  – соответственно суммы приходных, расходных и аккумуляционных элементов баланса.

Относительная невязка  $H_{om}$  рассчитывается по формуле:

$$H_{om} = \frac{H}{\rho} * 100 \quad (2.25)$$

$$\text{где } \rho = \frac{\sum P_p + \sum P + \sum A + H}{2} .$$

Здесь  $\sum P_p, \sum P, \sum A$  – в абсолютных величинах.



## 2.7 Контрольный пример расчета водного баланса озера Балхаш

В качестве контрольного примера расчета водного баланса оз. Балхаш взят 2004 г. В таблице 2.4 приведен расчет поверхностного, подземного притока воды в оз. Балхаш и потерь стока в дельте р. Или. Измерение расходов воды на р. Лепсы – подх. Лепсы не проводились, подсчета сток нет. Сток воды рек Лепсы – подх. Лепсы и Аксу – с. Джансугурово восстановлен по р. Каратал – с. Наймансуек. Подземный приток ежемесячно рассчитывался пропорционально поверхностному притоку.

Расчет объема осадков, выпадающих на озеро Балхаш, приведен в таблице 2.5.

В таблице 2.6 приведен расчет слоя и объема испарения с поверхности Западного и Восточного Балхаша и озера в целом.

В таблице 2.7 приведен расчет водного баланса оз. Балхаш за 2004 г. Абсолютная невязка водного баланса 11 млн куб. м.



Таблица 2.4 Расчет поверхностного, подземного притока воды в оз. Балхаш и потерь стока в дельте р. Или

Река – пост	Расчет притока воды в Восточный Балхаш и потерь стока в дельте р. Или												Сv
	Месяц												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Или- г. Капчагай, м3/сек	452	451	452	491	619	769	725	660	634	469	427	430	548
Или – г. Капчагай в млн куб м	1211	1130	1211	1273	1658	1993	1942	1768	1643	1256	1107	1152	17337
Потери, млн. куб. м	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.12	0.11	0.10	0.10	0.07	0.06	0.07	4663
	320	320	320	348	439	545	514	468	449	332	303	305	4663
<b>Расчет притока воды в Западный Балхаш</b>													
Каратал – с. Наймансуек, м3/с	75	75	74	130	120	113	84.4	53.4	50.1	67.8	72.5	62.2	81.4
Норма стока, м3/с	35.4	38.2	68.7	92.9	115	138	109	67.6	43	51.7	55.4	44.1	
В % от нормы	2.12	1.96	1.08	1.4	1.04	0.82	0.77	0.79	1.17	1.31	1.31	1.41	
Лепсы - подх., Лепсы	14.3	13.7	19.1	59.8	54.2	36.8	22.6	19.0	18.6	18.5	17.7	12.8	25.6
Норма стока м3/с	6.73	7.00	17.7	42.7	51.9	45.0	29.2	24.1	16.0	14.1	13.5	9.06	
В % от нормы													
Аку, норма, м3/с	4.49	4.17	5.06	8.45	17.1	23.3	26.4	21.5	10.5	7.01	5.77	4.86	
Аку – с. Джансугурово, м3/с	9.51	8.19	5.45	11.8	17.8	19.1	20.4	17.0	12.2	9.19	7.55	6.85	12.1
Приток к восточной части, м3/с	98.8	96.9	98.5	202	192	169	127	89.4	81.0	95.5	97.7	81.8	119
В млн. куб. м	36.9	38.7	36.8	77.8	71.7	65.2	47.6	33.4	31.2	35.6	37.7	30.6	543
<b>Расчет подземного притока</b>													
Подземный приток, млн. куб. м	55	55	55	60	75	94	88	80	77	57	52	52	800

Примечание Сv – коэффициент вариации месячного стока.



Таблица 2.5 - Расчет объема осадков, выпадающих на поверхность оз. Балхаш

Измеренные осадки за 2004 г.

Метеостанция	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Актогай	3.7	12.1	22.1	11.2	18.1	24	11.2	13.7	0.6	6.7	29.4	10.5	163.3
Алгазы	3.3	3.6	26.2	2.1	18.8	5.6	25.8	2.5	0	5	21.8	9.3	124.0
Куйган	9.1	4.3	21.9	2.4	46.2	19.3	42.6	5.2	0	8.8	27.1	13	199.9
Сарышаган	11.8	8.8	16.9	4.3	12.4	13.2	17.4	11.9	4	4.7	21.2	8.4	135.0
Балхаш	11.4	11.5	19.3	7.1	25.7	10.5	13.1	8.5	0.1	7.9	34.5	4.5	154.1

Осадки с поправками

Метеостанция	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Актогай	6.4	18.8	27.6	14.9	22.9	29.8	14.9	17.8	2.5	9.6	36.2	16.5	217.8
Алгазы	4.9	5.5	29.9	3.9	21.9	7.7	29.4	4.3	1.7	7.0	25.1	15.4	156.7
Куйган	13.8	6.4	26.7	4.7	54.1	23.7	50.0	7.8	2.0	11.9	32.5	19.7	253.1
Сарышаган	18.4	13.1	19.2	5.5	14.3	15.2	19.7	13.7	5.1	5.9	23.9	12.4	166.5
Балхаш	22.3	22.5	25.6	11.3	33.1	15.3	18.3	13.0	3.1	12.3	43.4	10.7	230.9

Расчет слоя и объема осадков

Слой Западный Балхаш, мм	21.5	17.6	26.3	10.8	34.1	20.9	30.7	15.3	7.5	13.2	35.1	17.4	250.3
Слой Восточный Балхаш, мм	3.4	8.1	26.6	5.8	20.0	13.5	21.8	7.1	1.0	5.9	26.7	13.5	153.4
F Западного Балхаша, кв. км.	11821	11877	11977	12133	12200	12245	12156	12122	11966	11877	11843	11944	12011
F Восточного Балхаша кв. км	7854	7887	7946	8035	8073	8097	8048	8029	7939	7887	7868	7926	7965
Объем осадков, млн. куб. м	281	273	527	177	577	365	549	243	97	203	625	315	4232

Примечание: F - площадь

Таблица 2.6 - Расчет объема испарения с поверхности оз. Балхаш за 2004 г.

Метеостанция	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
БГМО	6	3	18	35	104	149	153	188	140	102	47	12	957
Актогай	10	12	29	11	74	138	146	153	132	95	51	13	864
Алгазы	5	6	23	50	117	170	174	205	168	109	51	12	1090
БГМО	6	4	18	40	114	149	148	169	122	85	37	5	897
Сарышаган	4	4	21	51	119	164	155	173	131	83	39	7	951
Куйган	6	8	25	57	119	157	132	161	124	89	40	16	934
Слой осадков													
Восточного Балхаша, мм	6.3	6.7	23.3	38.1	104.6	158.4	163.3	189.8	154.0	104.4	50.1	12.2	1011.3
Западного Балхаша, мм	5.2	5.3	21.5	49.9	117.6	157.6	145.6	168.0	126.2	85.5	38.8	9.3	930.5
F Западного Балхаша, кв. км	11821	11877	11977	12133	12200	12245	12156	12122	11966	11877	11843	11944	
F Восточного Балхаша, кв. км	7854	7887	7946	8035	8073	8097	8048	8029	7939	7887	7868	7926	
Объем испарения, млн. куб м	111	116	442	911	2280	3212	3085	3561	2733	1839	854	208	19350



Таблица 2.7 Водный баланс оз. Балхаш за 2004 г.

Компоненты водного баланса	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>ПРИХОДНАЯ ЧАСТЬ</b>													
р. Или – ГП Капшагай, м3/с	452	451	452	491	619	769	725	660	634	469	427	430	548
В млн м3	1211	1130	1211	1273	1658	1993	1942	1768	1643	1256	1107	1152	17337
Приток к восточной части, м3/с	98.8	96.9	98.5	202	192	169	127	89.4	81.0	95.5	97.7	81.8	119
В млн. м3	264.5	242.9	263.9	522.5	514.3	437.9	341.4	239.5	209.9	255.7	253.3	219.2	3765
Осадки, млн. м3	281	273	527	177	577	365	549	243	97	203	625	315	4232
Подземный приток, млн м3	55.0	54.8	55.0	59.7	75.3	93.5	88.2	80.3	77.1	57.0	51.9	52.3	800
<b>СУММА</b>	<b>1811</b>	<b>1701</b>	<b>2056</b>	<b>2032</b>	<b>2825</b>	<b>2889</b>	<b>2920</b>	<b>2330</b>	<b>2028</b>	<b>1772</b>	<b>2037</b>	<b>1738</b>	<b>26134</b>
<b>РАСХОДНАЯ ЧАСТЬ</b>													
Испарение, млн куб. м	111	116	442	911	2280	3212	3085	3561	2733	1839	854	208	19350
Потери в дельте, млн куб м	320	320	320	348	439	545	514	468	449	332	303	305	4663
<b>СУММА</b>	<b>432</b>	<b>435</b>	<b>762</b>	<b>1259</b>	<b>2718</b>	<b>3757</b>	<b>3598</b>	<b>4028</b>	<b>3183</b>	<b>2171</b>	<b>1156</b>	<b>513</b>	<b>24013</b>
Объем на начало месяца, куб. км	113.02	113.98	115.71	118.4	119.56	120.13	118.79	118.21	115.9	114.17	113.4	115.13	113.02
Объем на конец месяца, куб. км	113.98	115.71	118.4	119.56	120.13	118.79	118.21	115.9	114.17	113.4	115.13	115.13	115.13
<b>Изменение объема, млн м3</b>	<b>960</b>	<b>1730</b>	<b>2690</b>	<b>1160</b>	<b>570</b>	<b>-1340</b>	<b>-580</b>	<b>-2310</b>	<b>-1730</b>	<b>-770</b>	<b>1730</b>	<b>0</b>	<b>2110</b>
Разность приходной и расходной частей	1380	1265	1294	773	107	-867	-678	-1698	-1155	-399	881	1225	2121
<b>Абсолютная невязка, млн куб. м</b>	<b>420</b>	<b>-465</b>	<b>-1396</b>	<b>-387</b>	<b>-463</b>	<b>473</b>	<b>-98</b>	<b>612</b>	<b>575</b>	<b>371</b>	<b>-849</b>	<b>1225</b>	<b>11</b>
Относительная невязка в %	5	8	26	5	4	4	1	6	6	5	13	13	0

## **Заключение**

В результате проведенных исследований была усовершенствована методика расчета отдельных элементов водного баланса озера Балхаш, в частности внесены усовершенствования в расчет поступления воды на поверхность озера с осадками, а также с поверхностными водами в Восточный Балхаш. Разработаны программные средства для автоматизации этих расчетов, которые позволяют составлять годовой и месячные водные балансы практически в автоматизированном режиме. Приведен контрольный пример расчета водного баланса оз. Балхаш за 2004 г.

При выполнении исследований авторы столкнулись с проблемой отсутствия некоторых данных. В частности, отсутствуют данные по притоку воды в восточный Балхаш, т.к. гидрометрические наблюдения на реке Аксу были прекращены, а на реках Каратал и Лепсы имеются пропуски в наблюдениях. В результате этого точность расчета водного баланса ухудшается. Для обеспечения составления водного баланса эти наблюдения необходимо восстановить.

В заключение следует отметить, что для качественного составления водного баланса необходимы качественные метеорологические и гидрологические исходные данные.

Авторы надеются, что проведенные исследования помогут существенно облегчить расчеты годового водного баланса озера Балхаш в оперативном режиме.

## Список использованных источников

- 1 Шнитников А. В. Элементы водного баланса оз. Балхаш // Тр. соляной лабор. Всес. Ин-та галургии. - 1936. - Вып. 11. - 5-82 с.
- 2 Юнусов Г. Р. Водный баланс озера Балхаш // Проблема водохозяйственного использования реки Или. Алма-Ата, 1950. - С. 141-189.
- 3 Юнусов Г. Р. Гидрологический режим озера Балхаш // Тр. III Всесоюз. гидрол. съезда. - 1959. - Т. 4. - С. 192-200.
- 4 Блинов Л. К., Буркальцева М. А. О географическом парадоксе озера Балхаш // Вопросы гидрологии. - М., 1957. - С. 226-232.
- 5 Тарасов М. Н. Гидрохимия озера Балхаш. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 227 с.
- 6 Жиркевич А. Н. Водный баланс озера Балхаш и перспективы его изменения в связи с использованием водных ресурсов Или-Балхашского бассейна // Тр. КазНИГМИ. - 1972. Вып. 44. - С. 140-168.
- 7 Искендеров Т. Водный баланс озера Балхаш // Метеорология и гидрология. - 1968. - № 2. - С. 60-68.
- 8 Курдин Р. Д., Мельничукова Е. Г., Мирошниченко С. М. О водном балансе озера Балхаш // Сб. работ Алма-Атинской ГМО. - 1969. - Вып. 4. - С. 47-76.
- 9 Голубцов В. В., Жиркевич А. Н. Водный баланс озера Балхаш и динамика его элементов в естественных условиях и при проведении в бассейне водохозяйственных мероприятий // Тр. КазНИГМИ. - 1973. - Вып. 50. - С. 153-177.
- 10 Тленбеков О. К. Ожидаемые изменения уровня оз. Балхаш и требования рыбного хозяйства по рациональному использованию водных ресурсов Или-Балхашского бассейна // Тр. ГГИ. - 1974. - Вып. 220. - С. 93-96.
- 11 Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или-Балхашской проблемы. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 310 с.
- 12 Скоцеляс И. И., Остроумова Л. П., Жиркевич А. Н. Современное состояние и перспективы изменения водного и солевого баланса оз. Балхаш // Тр. V Всесоюз. гидрол. съезда. - 1990. - Т. 4. - С. 206-214.
- 13 Скоцеляс И. И. Уточнение водного баланса оз. Балхаш и динамики его основных элементов // Тр. КазНИГМИ. - 1989. - Вып. 104. - С. 47-65.
- 14 Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья. - СПб: Гидрометеиздат, 1995. - 269 с.



15 Скоцеляс И. И. Влияние ресурсов и использования поверхностных вод на состояние озера Балхаш // Международный экологический форум Балхаш 2000.- Алматы: Комплекс, 2000. - Вып. 1. - С. 170-173.

16 Остроумова Л. П. Водный баланс оз. Балхаш и влияние на него климатических и антропогенных факторов / Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук. - М., 1991. - 22 с.

17 Джусупбеков Д. К. Вероятностный прогноз колебаний уровня и минерализации воды оз. Балхаш / Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук. - Алматы, 2002. - 29 с.

18 Ахмедсафин У. М., Шапиро С. М. Состояние и перспективы изучения подземного стока в оз. Балхаш // Тр. ГГИ. - 1974. - Вып. 220. - С. 51-57.

19 Красов В. Д. Прогноз режима Капчагайского водохранилища с учетом изменения водного баланса и уровня озера Балхаш // Тр. ГГИ. - 1974. - Вып. 220. - С. 17-32.

20 Курдин Р. Д., Рубинович С. А. Внутриводоемный водо- и солеобмен и его роль в распределении минерализации воды по длине озера Балхаш // Тр. КазНИГМИ. - 1975. - Вып. 52. - С. 64-86.

21 Курдин Р. Д. О роли динамики дельты р. Или и климатических факторов в колебании уровня воды оз. Балхаш // Водные ресурсы. - 1977. - № 1. - С. 143-150.

22 Браславский А. П., Чистяева С. П. Расчет испарения с поверхности оз. Балхаш по усовершенствованной методике // Тр. КазНИГМИ. - 1978. - Вып. 68. - С. 3-43.

23 Федюшин И. А. Определение потерь воды на испарение с поверхности оз. Балхаш разными методами // Сб. работ Алма-Атинской ГМО. - 1981. - Вып. 9. - С. 21-25.

24 Браславский А. П., Остроумова Л. П. Расчет испарения воды с поверхности оз. Балхаш // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1988. - Вып. 101. - С. 52-78.

25 Шапиро С. М., Павличенко Л. М., Подольный О. В. Гидрологические прогнозы подземного стока в оз. Балхаш. - Алма-Ата: Наука, 1982. - 128 с.

26 Голубцов В. В., Скоцеляс И. И. Оценка водного и солевого балансов, уровня и минерализации воды оз. Балхаш на перспективу // Научно-технические проблемы освоения природных ресурсов и комплексного развития производительных сил Прибалхашья. - Алма-Ата, 1989. - С. 67-71.

27 Скоцеляс И. И. Потери стока р. Или ниже урочища Капчагай // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1987. Вып. 97. - С.24-34.

28 Браславский А. П., Чистяева С. П. Определение исправленных атмосферных осадков по методике ГГО-КазНИИ // Тр. КазНИГМИ. - 1979. - Вып. 65. - С. 3-94.

29 Скоцеляс И.И. Определение атмосферных осадков, выпадающих на поверхность оз. Балхаш // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1987. - Вып. 97. - С. 34-44.

30 Браславский А. П. Усовершенствованная формула для расчета испарения с поверхности водных объектов // Тр. V Всес. гидрол. съезда. - Т. 8. - 1986. - С. 174-183.

31 Браславский А.П. Новая формула для расчета коэффициента трансформации температуры и влажности воздуха при его движении над водной поверхностью // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - Вып. 91. - 1985. - 75-87 с.

32 Остроумова Л. П. Оценка коэффициента трансформации температуры и влажности воздуха при движении его над водоемом сложной конфигурации // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - Вып. 91. - 1985. - 68-72 .

33 Остроумова Л.П. Учет сложной конфигурации при расчете температуры и влажности натекающего воздуха по данным наблюдений на прибрежной метеостанции // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - Вып. 91. - 1985. - 72-75 .

34 Браславский А. П., Остроумова Л. П. Оценка точности современных формул, предложенных для расчета слоя испарения с поверхности водных объектов // Тр. КазНИГМИ. - 1991. - Вып. 107. - С. 16-25.

35 Скоцеляс И. И. и др. Боковой приток речных вод в Капчагайское водохранилище // Гидрометеорология и экология. -2001. - № 3-4. - 69-79 с.

36 Шергина К. Б. Водный баланс Капчагайского водохранилища (для условий начального наполнения) // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. - 1974. -Вып. 11. - С. 112-119.

37 Шергина К. Б. Исследование водного баланса Капчагайского водохранилища // Тр. ГГИ. - 1974. - Вып. 220. - С. 33-38.

38 Нургалиев С. Н. К оценке нормы испарения в водной поверхности Капчагайского водохранилища // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. - 1974. -Вып. 11. - С. 120-126.

39 Шергина К. Б. Испарение воды с поверхности Капчагайского водохранилища // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. - 1976. - Вып. 13. - С. 155-162.

40 Большакова Е. В., Пакалин Э. В. Влияние Капчагайского водохранилища на режим и величину стока р. Или // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1983. - Вып. 80. - С. 97-105.

41 Шергина К. Б. Оценка притока воды в водохранилище Капчагайской ГЭС // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. - 1976. - Вып. 13. - С. 163-169.

42 Скоцеляс И. И. и др. Боковой приток речных вод в Капчагайское водохранилище // Гидрометеорология и экология. -2001. - № 3-4. - 69-79 с.

- 43 Ресурсы поверхностных вод СССР. - Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. - Вып. 2. Бассейн озера Балхаш. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 645 с.
- 44 Шапиро С. М., Винникова Т. Н. Гидрогеологические прогнозы в зоне Капчагайского водохранилища. - Алма-Ата: Наука, 1980. - 106 с.
- 45 Достаев Ж. Трансформация стока рек северного склона Заилийского Алатау // Дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук. - 1990. -189 с.
- 46 Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 95 с.
- 47 Константинов А. Р. Испарение в природе. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 532 с.
- 48 Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 334 с.
- 49 Справочное руководство гидрогеолога. - Л.: Недра, 1967. - Т. 1. - 592 с.
- 50 Разработать программный комплекс на ПЭВМ для оперативного расчета месячных и годовых водных балансов оз. Балхаш. - Отчет о НИР / КазНИГМИ; № ГР 01930010160. - Отв. исполн. Ивкина Н.И. - Алматы: 1993. - 66 с.
- 51 Скоцеляс И.И., Попова В.П., Горкунова Т.Г. Водный баланс озера Балхаш// Гидрометеорология и экология. -2003. - № 2 - 47-61 с.



Приложение А Данные для расчета слоя испарения оз. Балхаша по метеорологическим станциям

D/ISPAR/B\_Balcha/AA.DAN/Aktogai/2004

-10.70	-13.8	-16.8	1.1	2.1	2.9	0.1	20.5	8	2	4	4.5	4	14.5	42.5
-5.10	-7.9	-10.6	2.1	2.8	4.4	3.1	17.5	4	2	15.5	16.5	7.5	11	26
-1.90	-4.9	-7.8	2.1	3.0	4.3	2.4	13.5	3.5	2.5	9	7.5	12	23.5	28.5
10.4	4.7	-1.0	7.1	3.0	5.8	3.5	14	13	5.5	13.5	9.5	11	13.5	20
21.3	13.8	5.1	8.1	3.3	3.8	2.6	17	20	10	10.5	4	4.5	8.5	25.5
25.8	18.3	9.4	8.1	2.7	4.1	2.2	14	18	11.5	12	9.5	10	6	19
25.2	18.6	11.6	10.1	2.3	5.3	3.5	20.5	16.5	5.5	12	5.5	4.5	11	24.5
24.8	17.4	9.8	9.1	2.4	3.4	2.6	23	16.5	5	9	9.5	7.5	6.5	23
21.2	12.5	4.5	6.1	2.2	3.1	1.3	20	6.5	3	5	9	12	15.5	29
11.9	4.5	-2.0	4.1	2.4	4.2	1.9	11	2.5	1	4.5	8	27	18	28
0.7	-3.7	-7.5	3.1	2.5	5.6	3.1	9.5	4.5	7	21.5	5	12.5	14	26
-9.40	-12.3	-15.2	1.1	2.4	4.8	2.4	12.5	2.5	2	9.5	6.5	12.5	19	35.5

D/ISPAR/B\_Balcha/AA.DAN/Algazi/2004

-8.9	-13.9	-18.6	1.7	2.4	4.8	1.9	5	18	42	8	3	5	14	5
-1.4	-6	-9.8	3.3	3	4.8	2.8	3	19	48	5	0	7	14	5
5	-0.4	-4.1	4	3.5	5	1.8	8	25	37	3	1	3	14	12
15.2	8.8	4.7	6	4	5.3	1.6	13	20	24	10	2	4	16	12
23.5	17.2	12.2	8.9	4.2	3.1	1.8	7	11	18	10	4	10	17	23
28.4	22.5	18	12	4.6	3.6	1.3	5	13	23	14	5	11	17	12
29.9	24.5	20.5	16.3	3.9	5.3	2.2	9	13	22	18	7	6	13	11
29.2	22.9	18	13.4	4.5	2	1	9	24	26	20	4	3	6	6
23.5	17.2	12.6	9.8	4.3	1.7	0.2	10	23	22	7	2	6	18	13
13.8	8.8	5	7.1	4.3	4	1.1	8	26	36	12	2	6	8	3
4.7	1.9	4.7	5.5	4.6	4.7	3.5	9	20	33	10	2	7	11	8
-3.7	-7.2	-3.7	3.2	3.7	5.6	2.2	6	15	36	13	2	3	14	12

Продолжение Приложения А

D/ISPAR/B\_Balcha/AA.DAN/BGMO/2004

-9.7	-14.5	-18.8	1.7	4.4	5.5	2.1	3	81	3	1	1	1	1	3	5	3	1
-2.4	-7.1	-11.8	3.4	4.7	5.5	2.2	6	61	9	3	3	2	2	9	6	4	4
3.3	-1.3	-4.9	4.4	4.8	5.4	2.1	4	42	8	3	3	10	10	19	14	2	2
14.2	8.6	4	6.7	4.7	6.3	1.6	13	28	11	3	3	11	11	18	7	9	9
23	17.2	11.7	9.5	4.2	3.5	2.1	10	28	12	8	8	15	15	9	8	10	10
28	22.2	16.4	11.9	3.2	3.6	1.6	11	29	11	8	8	16	16	8	8	10	10
28.2	23.5	18.7	16.4	2.9	5.2	2.1	20	19	11	5	5	19	19	11	8	7	7
27.3	21.6	16	12.7	3.5	2.4	1.1	11	33	7	8	8	6	6	13	4	8	8
21.5	15.7	9.7	9.2	2.7	2.1	0.4	10	29	5	8	8	15	15	15	9	9	9
12.9	7.4	2.5	6.1	3.6	4.5	1.5	27	9	5	6	6	10	10	17	20	6	6
3.9	0.1	3.9	5.2	3.4	5.6	2.4	26	32	8	4	4	3	3	11	13	3	3
-4	-8.3	-4	3	3.7	5.4	1.8	33	33	5	2	2	1	1	16	9	1	1

D/ISPAR/B\_Balcha/AA.DAN/Sarichag/2004

-8.7	-12.7	-16.6	2	2.3	5.6	1.5	26	35	35	25	25	6	6	0	1	2	5
-1.4	-5.6	-9.1	3.7	2.6	5.2	1.1	16	30	30	24	24	7	7	3	5	7	8
4.6	0	-3.6	4.3	2.8	5.1	1.5	7	19	19	24	24	11	11	6	6	11	16
15.6	9.5	4.3	6.4	2.8	5.6	1.9	16	19	19	20	20	14	14	6	7	7	13
22.6	17.4	11.8	9.5	3.1	3.4	1.9	15	19	19	25	25	15	15	7	4	6	9
28.5	22.8	17.1	12	3.2	3.5	1.6	17	23	23	23	23	13	13	5	9	4	5
29.8	24.6	19.5	16	2.6	5.2	3.3	16	17	17	21	21	17	17	6	5	7	12
28.2	22.1	16.3	11.9	2.8	2.4	1.7	18	20	20	25	25	14	14	4	3	8	8
22.3	16.3	10.1	9	2.4	2	0.8	16	16	16	22	22	13	13	10	5	7	11
13.6	7.9	2.3	6.2	2.2	4	0.6	11	16	16	16	16	10	10	5	9	16	17
4.3	1	-1.9	5.6	2.5	6.2	2.1	15	26	26	21	21	7	7	2	8	14	7
-4.6	-7.8	-10.8	3.2	2.3	5.6	2.2	22	32	32	15	15	1	1	4	6	16	4

Продолжение приложения А  
D/ISPAR/B\_Balcha/AA.DAN/Kuigan/2004

-6.30	-8.9	-11.4	2.33	1.5	5.7	3.6	22.5	24.5	33.5	5	2	1.5	5	6
2.9	-3.0	-7.6	4.15	2.4	5.7	3.1	7.5	18.5	33.5	9	11	5	11.5	4
8.6	2.1	-2.6	4.71	2.9	6.2	3.1	10	15.5	27	8	5	6.5	19	9
18.8	11.6	5.6	7.7	3.1	5.7	2.4	11.5	11	19	15	5.5	5.5	17.5	15
25.7	18.8	12.1	11	3.0	3.7	1.9	10.5	17	28	13	4	4.5	10.5	12.5
31.4	23.7	16.5	12.8	2.4	3.9	1.5	15.5	23.5	28	7.5	8.5	3	5	9
31.8	25.2	19.6	17.6	1.3	5.5	2.6	18.5	13	27.5	14	9.5	3	7	7.5
30.4	22.4	15.5	14.1	1.7	2.3	1.1	14.5	28	24.5	4	3.5	5	10.5	10
24.9	16.9	9.2	10.3	1.6	2.4	0.1	11	22	31.5	6	3	4	8	14.5
16.5	8.7	2.3	6.9	2.3	4.1	1.5	5.5	15.5	23	9.5	9	10.5	18.5	8.5
6.8	1.7	-1.9	5.93	2.2	6.2	3.8	6	15.5	29	12.5	8.5	8.5	12	8
-2.30	-4.7	-7.0	3.39	1.9	5.9	3.6	4	21	30	14.5	4.5	7.5	13	5.5



## Приложение Б Результаты расчета слоя испарения для оз. Балхаш

Испарение по методу теплового баланса и рассчитанные средние для акватории водоема гидрометеорологические характеристики  
 Водоем - В\_ВАЛСНА Метеостанция - АКТОГАЙ  
 Год 2004

Месяц:	Испарение, мм	Температура, град	Влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с	Облачность, %	Толщина льда, см	МВЕ			
1	10	0.0	-14.6	-13.7	1.0	2.1	2.9	0.1	49	0.424
2	12	0.0	-8.5	-8.4	2.0	2.2	4.4	3.1	60	0.424
3	29	0.0	-4.4	-5.0	2.3	2.2	4.3	2.4	60	0.441
4	11	4.7	0.0	3.6	6.4	2.7	5.8	3.5	0	0.435
5	74	12.9	0.0	13.1	9.9	3.2	3.8	2.6	0	0.426
6	138	19.4	0.0	18.6	12.6	3.2	4.1	2.2	0	0.421
7	146	20.8	0.0	19.4	14.1	3.1	5.3	3.5	0	0.420
8	153	20.4	0.0	18.5	13.3	3.1	3.4	2.6	0	0.409
9	132	17.4	0.0	14.4	10.4	3.0	3.1	1.3	0	0.417
10	95	11.1	0.0	7.2	7.0	3.1	4.2	1.9	0	0.423
11	51	3.6	-8.9	-0.8	4.4	3.1	5.6	3.1	1	0.423
12	13	0.0	-12.5	-11.7	1.2	2.2	4.8	2.4	25	0.423

Слой испарения за год, рассчитанный по методу теплового баланса:  
 SGE= 865.7 мм

Испарение по методу теплового баланса и рассчитанные средние для акватории водоема гидрометеорологические характеристики  
 Водоем - В\_ВАЛСНА Метеостанция - ALGAZI  
 Год 2004

Месяц:	Испарение, мм	Температура, град	Влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с	Облачность, %	Толщина льда, см	МВЕ			
1	5	0.0	-13.1	-13.5	1.6	1.8	4.8	1.9	35	0.441
2	6	0.0	-6.2	-6.5	3.2	2.1	4.8	2.8	44	0.441
3	23	0.0	-0.9	-0.8	4.2	2.3	5.0	1.8	6	0.457
4	50	6.8	0.0	8.4	6.5	3.5	5.3	1.6	0	0.449
5	117	15.6	0.0	16.4	10.2	3.5	3.1	1.8	0	0.447
6	170	21.4	0.0	22.0	13.8	3.5	3.6	1.3	0	0.450
7	174	23.6	0.0	24.1	17.4	3.5	5.3	2.2	0	0.441
8	205	23.2	0.0	22.6	15.0	3.5	2.0	1.0	0	0.431
9	168	19.2	0.0	17.1	11.1	3.5	1.7	0.2	0	0.437
10	109	11.8	0.0	8.4	7.2	3.5	4.0	1.1	0	0.433
11	51	5.1	0.0	2.1	5.6	3.5	4.7	3.5	0	0.435
12	12	1.1	-9.0	-6.6	3.4	2.7	5.6	2.2	13	0.441

Слой испарения за год, рассчитанный по методу теплового баланса:  
 SGE= 1088.6 мм

Испарение по методу теплового баланса и рассчитанные средние  
 для акватории водоема гидрометеорологические характеристики  
 Водоем - В\_ВАЛЧНА Метеостанция - ВГМО  
 Год 2004

Месяц:	рение,	воды:	снеголе-	воздуха:	ность,	ветра,	общая:	нижняя:	льда:	МВЕ
:	мм	:	дяного	:	гПа	м/с	:	:	см	:
:	:	:	покрова	:	:	:	:	:	:	:
1	6	0.0	-13.4	-14.2	1.6	2.5	5.5	2.1	39	0.403
2	3	0.0	-6.7	-7.4	3.3	2.5	5.5	2.2	49	0.403
3	18	0.0	-1.2	-1.6	4.4	2.6	5.4	2.1	15	0.442
4	35	6.8	0.0	8.0	7.3	3.5	6.3	1.6	0	0.431
5	104	15.8	0.0	16.5	11.2	3.5	3.5	2.1	0	0.428
6	149	22.0	0.0	21.9	14.9	2.9	3.6	1.6	0	0.423
7	153	24.4	0.0	23.6	18.4	2.6	5.2	2.1	0	0.415
8	188	23.7	0.0	21.9	15.8	3.1	2.4	1.1	0	0.409
9	140	20.0	0.0	16.7	11.9	2.5	2.1	0.4	0	0.410
10	102	12.9	0.0	9.0	8.1	3.1	4.5	1.5	0	0.420
11	47	5.8	0.0	2.0	6.0	3.0	5.6	2.4	0	0.412
12	12	1.3	-9.9	-7.5	3.2	2.6	5.4	1.8	14	0.403

Слой испарения за год, рассчитанный по методу теплового баланса:  
 SGE= 957.9 мм

Испарение по методу теплового баланса и рассчитанные средние  
 для акватории водоема гидрометеорологические характеристики  
 Водоем - Z\_ВАЛЧНА Метеостанция - КУЙГАН  
 Год 2004

Месяц:	рение,	воды:	снеголе-	воздуха:	ность,	ветра,	общая:	нижняя:	льда:	МВЕ
:	мм	:	дяного	:	гПа	м/с	:	:	см	:
:	:	:	покрова	:	:	:	:	:	:	:
1	6	0.0	-8.9	-8.5	2.4	1.5	5.7	3.6	22	0.557
2	8	0.0	-3.3	-3.3	4.1	2.2	5.7	3.1	27	0.557
3	25	3.9	-0.1	1.9	5.2	2.8	6.2	3.1	0	0.543
4	57	11.0	0.0	11.3	9.3	3.4	5.7	2.4	0	0.535
5	119	19.5	0.0	19.1	14.9	3.4	3.7	1.9	0	0.548
6	157	24.7	0.0	24.1	19.4	3.1	3.9	1.5	0	0.554
7	132	26.9	0.0	25.9	22.9	1.9	5.5	2.6	0	0.549
8	161	26.4	0.0	24.4	21.3	2.5	2.3	1.1	0	0.548
9	124	22.2	0.0	19.5	16.2	2.3	2.4	0.1	0	0.548
10	89	14.2	0.0	11.5	10.2	3.1	4.1	1.5	0	0.544
11	40	6.4	0.0	4.1	6.8	3.0	6.2	3.8	0	0.552
12	16	1.5	-7.0	-3.2	3.9	2.3	5.9	3.6	7	0.557

Слой испарения за год, рассчитанный по методу теплового баланса:  
 SGE= 932.5 мм

Испарение по методу теплового баланса и рассчитанные средние  
 для акватории водоема гидрометеорологические характеристики  
 Водоем - Z\_BALCHA Метеостанция - SARISHAG  
 Год 2004

Месяц	Испарение, мм	Температура, град	Влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с	Облачность, %	Толщина льда, см	МВЕ			
1	4	0.0	-12.1	-12.6	1.9	2.1	5.6	1.5	35	0.543
2	4	0.0	-5.3	-5.7	3.7	2.3	5.2	1.1	43	0.543
3	21	0.0	-0.7	-0.5	4.4	2.5	5.1	1.5	0	0.546
4	51	8.6	0.0	9.1	7.9	3.5	5.6	1.9	0	0.546
5	119	18.0	0.0	17.6	13.3	3.8	3.4	1.9	0	0.552
6	164	23.4	0.0	23.0	18.0	3.8	3.5	1.6	0	0.557
7	155	24.7	0.0	24.5	20.4	3.4	5.2	3.3	0	0.546
8	173	23.9	0.0	22.9	18.2	3.5	2.4	1.7	0	0.549
9	131	20.1	0.0	18.2	14.2	3.2	2.0	0.8	0	0.546
10	83	13.1	0.0	10.4	9.3	2.9	4.0	0.6	0	0.533
11	39	5.5	0.0	3.1	6.4	3.3	6.2	2.1	0	0.547
12	7	1.0	-9.0	-6.9	3.4	2.4	5.6	2.2	13	0.543

Слой испарения за год, рассчитанный по методу теплового баланса:  
 SGE= 952.2 мм

Испарение по методу теплового баланса и рассчитанные средние  
 для акватории водоема гидрометеорологические характеристики  
 Водоем - Z\_BALCHA Метеостанция - BGMO  
 Год 2004

Месяц	Испарение, мм	Температура, град	Влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с	Облачность, %	Толщина льда, см	МВЕ			
1	6	0.0	-13.4	-14.2	1.6	2.5	5.5	2.1	41	0.544
2	4	0.0	-6.6	-7.4	3.3	2.5	5.5	2.2	50	0.544
3	18	0.0	-1.2	-1.7	4.4	2.6	5.4	2.1	17	0.560
4	40	7.9	0.0	8.0	7.6	3.5	6.3	1.6	0	0.550
5	114	17.5	0.0	17.1	12.6	3.5	3.5	2.1	0	0.550
6	149	23.3	0.0	22.5	17.1	2.9	3.6	1.6	0	0.549
7	148	25.2	0.0	24.1	20.2	2.6	5.2	2.1	0	0.543
8	169	24.2	0.0	22.5	18.0	3.1	2.4	1.1	0	0.554
9	122	20.1	0.0	17.5	13.6	2.5	2.1	0.4	0	0.548
10	85	12.2	0.0	9.4	8.6	3.1	4.5	1.5	0	0.525
11	37	4.8	0.0	2.4	6.0	3.0	5.6	2.4	0	0.543
12	5	0.7	-9.4	-7.8	3.1	2.4	5.4	1.8	16	0.544

Слой испарения за год, рассчитанный по методу теплового баланса:  
 SGE= 896.6 мм



