

**КОМИТЕТ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ СССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

ОСТРОУМОВА Любовь Петровна

**ВОДНЫЙ БАЛАНС ОЗ. БАЛХАШ
И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО КЛИМАТИЧЕСКИХ
И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

**(11.00.11 — Охрана окружающей среды
и рациональное использование природных ресурсов)**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Москва—1991 г.

К

Работа выполнена в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте Комитета гидрометеорологии СССР.

Научные руководители: доктор технических наук

А.П. Браславский

кандидат географических наук
В.Ф. Полонский

Официальные оппоненты: доктор географических наук
профессор В.Н. Михайлов

кандидат географических наук
В.Н. Бортник

Ведущая организация: Институт географии АН КазССР

Защита диссертации в 1991 г.
в 16⁴⁵ час. на заседании
К 024.02.01 в Государственном гидрометеорологическом институте по адресу: Ленинский пер., 6.

С диссертацией ознакомлены
Государственный гидрометеорологический институт

Автореферат

Ученый секретарь
специализированной комиссии
кандидат наук

Рева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Оз. Балхаш относится к числу крупнейших естественных водоемов СССР и имеет важное народнохозяйственное значение. Оно занимает одно из первых мест по добыче рыбы среди внутренних водоемов. Пресноводная западная часть озера является основным источником водоснабжения Балхашского горнодобывающего узла и г. Балхаш, а также имеет воднотранспортное значение для ряда областей Казахстана. Создание в 1970 г. Или-Балхашской водохозяйственной системы с Капчагайской ГЭС на р. Или и водохранилищем многолетнего регулирования, развитие орошаемого земледелия в южных районах Балхаша, начавшийся маловодный период водности рек внесли существенные изменения в водный баланс и уровень озера. Значительные колебания водного баланса и уровня приводят к изменению морфометрических и гидрологических характеристик и, соответственно, условий эксплуатации водоема. Понижение уровня и повышение минерализации западной части оз. Балхаш стало приобретать катастрофические размеры. Народнохозяйственный ущерб оказался настолько велик, что потребовалось принятие неотложных мер по оптимизации Или-Балхашской экологической системы. Такая оптимизация должна основываться в настоящее время на анализе данных водохозяйственных расчетов, в результате которых будет получен режим уровня и минерализации воды озера с учетом изменения ее по длине водоема при различных вариантах водозабора из рек бассейна оз. Балхаш и различных компенсирующих мероприятий на его акватории. В их основе лежит расчет водного баланса оз. Балхаш.



Актуальность темы – "Водный баланс оз.Балхаш и влияние на него климатических и антропогенных факторов" – велика, несмотря на наличие довольно большого числа публикаций по этой проблеме. Применение методов водных балансов для выбора оптимальных природоохранных и водохозяйственных мероприятий поможет ответить на вопрос: как совместить все возрастающую потребность в водных ресурсах различных отраслей народного хозяйства с необходимостью сохранения природно-экологических условий озера. Месячные водные балансы должны быть положены в основу создания второго этапа "Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейнов рек Или, Каратал и оз.Балхаш", разработанной Казахским Государственным институтом проектирования народного хозяйства. Для составления водных балансов с минимально допустимыми невязками необходимо разработать методы расчета отдельных его характеристик за месячные интервалы времени. В настоящее время не существует достаточно хорошей методики расчета месячных водных балансов озера, позволившей бы решить эти проблемы, оценив влияние на них климатических и антропогенных факторов.

Цель и задачи исследований. Основная цель – исследовать естественные и антропогенные изменения водного баланса оз.Балхаш, разработав методы расчета отдельных его составляющих.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выделить основные факторы, влияющие на водный баланс озера.
2. Разработать или усовершенствовать методики расчета отдельных составляющих месячных водных балансов.
3. Разработать программы реализации методов расчета отдельных составляющих водного баланса на ЭВМ.

4. Определить параметры разработанных моделей, составить и увязать месячные водные балансы.

5. Исследовать естественные и антропогенные изменения составляющих водного баланса и дать их оценку.

6. Разработать рекомендации по составлению месячных водных балансов и показать возможность применения метода для оценки и выбора вариантов рационального использования и охраны оз.Балхаш.

Основные положения, защищаемые в диссертации:

1. Метод расчета притока поверхностных вод р.Или к периметру озера.

2. Усовершенствованная концептуальная модель расчета месячных слоев испарения с поверхности Западного и Восточного Балхаша и всего озера.

3. Метод расчета месячных водных балансов оз.Балхаш и возможность применения его для выбора природоохранных и водохозяйственных мероприятий.

4. Оценка климатического фактора и антропогенного влияния на водный баланс озера Балхаш.

Методика исследований. Выполненные исследования основаны на изучении физической сущности процессов, определяющих формирование тех или иных составляющих водного баланса водоема, их описании с помощью концептуальных моделей с использованием тепло- и воднобалансовых методов. Кроме того, широко применялись статистический, математический (аналитический и графический), картографический и др. методы количественного анализа, применяемые в гидрометеорологических исследованиях.

Материалы. При проведении исследований использованы материалы наблюдений метеорологических и гидрологических станций и постов Казгидромета, а также экспериментальные и экспедиционные исследования ГГи, Казгидропроекта, Казгипроводхоза, ВНИИТа, КазНИИЭ, Ин-

ститута географии АН КазССР, а также ряд картографических материалов бассейна оз. Балхаш.

Научная новизна. Впервые разработан метод расчета месячных водных балансов оз. Балхаш. Для определения основной приходной составляющей водного баланса озера, притока воды к периметру Западного Балхаша разработана методика, основанная на водном балансе дельты р. Или. С помощью материалов аэрофотосъемки территории дельты р. Или найден способ определения площадей, занятых различными ландшафтами, в зависимости от обводнения дельты. Предлагаемая методика учитывает два основных фактора: изменение общей площади дельты при колебаниях уровня оз. Балхаш, а также изменение площади разливов воды в дельте при изменении расхода воды в ее вершине. Эта методика включает модели элементарных процессов, происходящих в дельте р. Или и позволяющих рассчитать сток воды от весеннего таяния льда, осевшего на берегах проток и озер дельты, изменение запасов воды в них. На основе гидрометрических наблюдений на протоках в нижней части дельты получена зависимость, позволяющая оценить величину стока через заросли тростника или так называемого "тростникового стока".

Для определения испарения – основной расходной характеристики водного баланса бессточного водоема – применен метод испарительных формул. При этом впервые использована разработанная А. П. Браславским в КазНИИЭ (1985г.) формула, хорошо описывающая сущность процесса испарения.

Средние значения упругости водяного пара и температур воздуха над водной поверхностью получены по данным прибрежных метеостанций при помощи трансформационной теории, усовершенствованной для водоемов сложной конфигурации. Установлены переходные коэффициенты для расчета скорости ветра над водной поверхностью, полученные с помощью аэрологических данных о среднемноголетней скорости

ветра на высоте 1000 м. Выявлена зависимость их от скорости ветра на метеостанции. Усовершенствован ряд математических формул, позволяющих определить слагаемые теплового баланса водоема. Вся процедура расчета водного баланса оз. Балхаш автоматизирована. Впервые за месячные интервалы времени оценен вклад климатической и антропогенной составляющих в водный баланс оз. Балхаш и дельты р. Или как в перспективе, так и в прогностических вариантах.

Научная и практическая ценность диссертации обуславливается направленностью на развитие научно-методических основ исследования озер и водохранилищ, усовершенствование методов расчета теплового и водного баланса водоемов. Разработанные методы определения испарения и изменения стока вода в дельте р. Или могут быть использованы при составлении водных балансов любых других водных объектов на территории СССР. Особое значение разработанные методики приобретают при их использовании для расчета этих компонентов в условиях засушливой зоны КазССР, где распространены, в основном, бессточные озера, режим которых изучен недостаточно. Предлагаемое программное обеспечение позволяет производить сложнейшие расчеты быстро и качественно.

Большую практическую ценность имеют составленные месячные водные балансы дельты р. Или и водные балансы оз. Балхаш за период с 1937 по 1987 гг. Полученные результаты применялись при разработке в научном обосновании Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов Или-Балхашского бассейна (II этап). Оценено влияние Капчагайского водохранилища и Акдалинского массива рисосеяния на составляющие водного баланса дельты р. Или и оз. Балхаш. Показано, что при отсутствии такой антропогенной нагрузки уровень оз. Балхаш был бы выше уровня

340,6 мБС (1987г.) на I м. Проведены варианты расчеты на перспективу уровня оз. Балхаш для условий наиболее многоводного и маловодного десятилетий за исследуемый период, что выявило дефицит водных ресурсов бассейна и невозможность восстановить естественную экологию озера в целом.

Апробация работы. Диссертация представляет собой обобщение результатов работ в части водных балансов по темам Ш.21.03 "Дать оценку водно-солевого баланса оз. Балхаш на современном этапе и на перспективу" (1982-1985гг.), П 16а.18 "Уточнить" оценку водно-солевого баланса оз. Балхаш на перспективу и подготовить рекомендации по расчету текущих значений элементов водного баланса озера" (1986-1988гг.) и Р.3.6.2 "Оценить возможные изменения уровня и минерализации воды оз. Балхаш при различных вариантах хозяйственной деятельности (1989-1990гг.).

Основные результаты работы доложены на итоговых сессиях Ученого Совета КазНИГМИ (1985-1989гг.), конференции молодых ученых и специалистов в 1986г., на V Всесоюзном гидрологическом съезде (г. Ленинград, 1986г.), на III съезде Географического общества КазССР в г. Алма-Ате (1990г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, семь из них в соавторстве, общим объемом 20 печатных листов.

Объем работы. Диссертация состоит из 132 страниц машинописного текста, 45 таблиц, 24 рисунков, списка литературы, содержащего 130 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из шести глав, введения и заключения.

Во введении описаны причины и выявлены факты ухудшения экологической обстановки оз. Балхаш и дельты р. Или. Сформулированы цели и поставлены задачи, дана общая характеристика работы.

Объясняется сложность поставленной задачи, так как необычная конфигурация бессточного озера, котловина которого вытянута и разделена на две полуизолированные части, затрудняет определение таких составляющих водного баланса, как испарение и осадки, а обширная дельта р. Или, примыкающая к западной его части, создает неопределенность в оценке поступления воды через заросли тростника к периметру водоема. Дана краткая физико-географическая характеристика бассейна оз. Балхаш, многое объясняющая в естественном изменении составляющих водного баланса. Приводится уравнение месячного водного баланса оз. Балхаш:

$$W_K = W_H + V_{пр,вр} + V_{пр,или} + V_{ос} + V_{пл} - V_{п} - V_{ис}, \quad (I)$$

где W_K и W_H - количество воды в озере в конце и начале расчетного периода; $V_{пр,вр}$ - сток рек, впадающих в Восточный Балхаш; $V_{пр,или}$ - сток р. Или в Западный Балхаш; $V_{ос}$ - количество воды, поступающей на поверхность озера в виде атмосферных осадков; $V_{пл}$ - склоновый сток и приток подземных вод; $V_{п}$ - количество воды, теряющей в береговой зоне озера; $V_{ис}$ - количество воды, испаряющейся с поверхности озера. Все слагаемые выражены в 10^9 м³.

В первой главе рассматривается аккумуляционная составляющая уравнения водного баланса (I). За расчетный период она может быть выражена разностью начального и конечного объема озера, зависящих от его уровня.

Для определения площадей водного зеркала и объемов озера использованы зависимости, рекомендованные С.П. Чистяевой. Осуществлен расчет среднего уровня озера на начало каждого месяца, среднего месячного уровня, а также рассмотрен вопрос точности определения аккумуляционной составляющей водного баланса.

Во второй главе решается задача определения притока воды к периметру оз. Балхаш, которая делится на две части. Первая — расчет притока воды в Восточный Балхаш, как сумма стока р. Каратал у с. Раздольное, р. Лепсы у подхоза Лепсы, р. Аксу у свх Кызыл-Тан, р. Аягуз у пос. Каратас. Площади дельт этих рек невелики, потери стока в них незначительны и поэтому в расчетах они не учитывались. Среднегодовой приток восточных рек в оз. Балхаш за период с 1937 по 1987 гг. составляет $3,079 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. Внутри года его величина колеблется от $0,043 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ в месяц (апрель 1983г.) до $1,089 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ в месяц (июнь 1960г.). Вторая часть рассматриваемой задачи связана с расчетом притока воды р. Или в Западный Балхаш с учетом изменения стока в ее дельте. Сток воды из р. Или осуществляется по ряду протоков, на которые делится русло этой реки в пределах дельты. Рассмотрены возможные методы определения притока воды по: гидрометрическим измерениям на протоках нижней части дельты р. Или; водному балансу оз. Балхаш; водному балансу дельты р. Или. Использование гидрометрических материалов на протоках нижней части дельты встречает ряд затруднений: гидрометрические измерения на протоках дельты р. Или есть только за 22 года из 50, за которые собраны сведения об остальных слагаемых водного баланса оз. Балхаш; точность измерения расходов воды в протоках понижена из-за переменного подпора от ветровых децивелляций уровня озера; кроме стока основных протоков вода р. Или поступает в оз. Балхаш по ряду мелких протоков, в которых измерения не производились, а при повышении стока в вершине дельты вода поступает в озеро и по затопленным зарослям тростника. Сумма гидрометрически измеренного стока протоков нижней части дельты дает заведомо уменьшенную величину поступления воды в оз. Балхаш из дельты р. Или.

Оценить сток воды в оз. Балхаш на основании уравнения водного баланса озера с точностью гидрометрических измерений стока можно лишь для годовых интервалов времени. Вероятная ошибка составляет $\delta = 16 \text{ м}^3/\text{с}$ или 5% относительно величины притока к озеру.

Для определения месячного притока воды к периметру озера остается два способа: 1) суммирование стока протоков в нижней части дельты р. Или с учетом стока через заросли тростника и 2) вычисление этого притока из уравнения водного баланса дельты:

$$V_{\text{вд}} = V_{\text{пр,в}} + V_{\text{ос}} + \Delta V_{\text{ос}} + \Delta V_{\text{тл}} - V_{\text{ис,вп,зг,д}} - \Delta V_{\text{л}} - V_{\text{ис,зр}} - \Delta W_{\text{г}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{вд}}$ — поверхностный сток воды из дельты р. Или в оз. Балхаш по руслам протоков и затопленным тростникам, 10^9 м^3 ; $V_{\text{пр,в}}$ — сток воды в вершине дельты р. Или; $V_{\text{ос}}$ — количество атмосферных осадков, выпадающих на водную поверхность, а также площади, занятые полупогруженной водной растительностью, болотами, суходольными тростниками и древесной растительностью; $\Delta V_{\text{ос}}$ — весенний сток с поверхности дельты, расположенной выше уровня воды протоков и озер дельты (в остальное время года сток воды с этой территории отсутствует); $\Delta V_{\text{тл}}$ — сток воды, образующейся от таяния льда, осевшего зимой на берегах протоков; $V_{\text{ис,вп,зг,д}}$ — количество воды, испарившейся с открытой водной поверхности, зарослей полупогруженной водной растительности и болот; $V_{\text{ис,зр}}$ — количество воды, испарившейся с древесной растительности, зарослей суходольных тростников и разнотравной растительности с близким залеганием грунтовых вод; $\Delta W_{\text{г}}$ — затраты воды на образование льда на берегах озер и протоков дельты при понижении уровня воды в них зимой во время ледостава; $\Delta W = W_{\text{кг}} - W_{\text{нг}}$ — изменение запасов воды в дельте на конец ($W_{\text{кг}}$) и начало ($W_{\text{нг}}$) расчетного

интервала времени. Все слагаемые выражены в $1 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. Основными составляющими уравнения (2) являются $V_{пр,в}$, $V_{ос}$, $V_{ис}$.

За приток воды к вершине дельты ($V_{пр,в}$) в 1937-1969 гг. принят сток, измеренный на р. Или - уроч. Капчагай. За период с 1970 по 1987 гг. этот приток оценивался по данным гидрометрических наблюдений на том же гидростворе с учетом безвозвратного водопотребления на Акдалинском массиве орошения.

Для расчета остальных слагаемых уравнения (2) необходимы сведения о площадях, занятых различными ландшафтами в дельте. Анализ результатов аэрофотосъемок дельты 1958, 1964, 1974, 1978, 1981 и 1984 показал, что только аэрофотосъемка 1981 г. произведена при назначении нижней границы дельты по реальному урезу воды. Эта съемка положена в основу построения зависимостей, по которым рассчитывались общая площадь дельты и площади, занятые различными ландшафтами.

Предложена зависимость площади дельты (F_d , км²) от уровня оз. Балхаш (H_B , 10^{-2} км):

$$F_d = 8200 - a (H_B - 142), \quad (3)$$

где a - коэффициент, величина которого оптимизирована из расчета водного баланса озера за 1937-1987 гг. и оказалась равной $3 \cdot 10^9 \text{ м}^3 / 1 \cdot 10^2 \text{ м}^2$.

Вся площадь дельты разделена на три группы ландшафтов:

1. Водная поверхность, затопленные тростники и болота ($F_{вл,зт,б}$), км².
2. Древесная растительность, суходольные тростники и площади разнотравья с близким залеганием грунтовых вод ($F_{др,д}$), км².
3. Суходолы с глубоким залеганием грунтовых вод ($F_{сух}$), км².

Для ландшафтов I группы разработано уравнение:

$$F_{вл,зт,б} = 0,3 [8200 - 3 (H_B - 142)] \left(\frac{H_d - 142}{236} \right)^2, \quad (4)$$

где H_d - уровень воды в дельте р. Или (условный показатель обводнения дельты), 10^2 м.

Площадь $F_{др,д}$ приближенно составляет $0,07 F_d$, а площадь суходолов с глубоким залеганием грунтовых вод вычислена, как разность

$$F_{сух} = F_d - F_{вл,зт,б} - F_{др,д}. \quad (5)$$

Количество воды, поступающей на поверхность дельты с атмосферными осадками и участвующей в ее водном балансе, вычислено как произведение слоя на соответствующие площади ландшафтных зон отдельного для безледного и ледового периода. Слой атмосферных осадков принят равным полусумме величин, измеренных на метеостанции Куйган и Аул № 4. $V_{ос,д}$ колеблется от 0,1 до $1,3 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ в год.

Основной расходной характеристикой в уравнении водного баланса дельты является испарение с различных ландшафтов. За $V_{ис,вл,зт,б}$ в дельте принято произведение $F_{вл,зт,б}$ на слой испарения с Западного Балхаша с понижающим коэффициентом 0,85, учитывающим увеличение шероховатости по сравнению с гладкой водной поверхностью. При определении $V_{ис,др,д}$ учитывался ход транспирации растений, а также рекомендации, данные И.С. Соседовым и Г.М. Гельбух. За $V_{ис,сух}$ участков дельты с глубоким залеганием грунтовых вод и покрытых полупустынной растительностью принято количество выпадающих на $F_{сух}$ осадков. Объем испарения с поверхности дельты изменяется от $0,4-4,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ в год.

Изменение запасов воды в озерах и протоках ΔW_d определялось с использованием зависимости $\frac{\Delta W_d}{\Delta H} \cdot 10^{-5} = f(H_d)$. Эта величина в отдельные месяцы достигает $0,2-0,3 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, что соизмеримо с объемом месячного стока в межень.

Второй путь, с помощью которого можно решить проблему притока воды в Западный Балхаш, состоит в суммировании стока проток в нижней части дельты р. Или с учетом "тростникового стока". Почти полное совпадение в среднем годового стока, полученного из уравнения водного баланса дельты, и стока, полученного из уравнения водного баланса озера, позволяет предполагать, что разность между стоком $V_{ББД}$ и измеренным гидрометрически на протоках нижней части дельты р. Или, и сеть величина "тростникового стока". Получена зависимость $\Delta V_{тр} = f^k(V_{пр,в})$, ее аппроксимация за безледоставный и зимний периоды имеет вид:

$$\Delta V_{тр,л} = 0,25 \cdot (V_{пр,в} - 0,8)^{1,4}, \quad (6)$$

$$\Delta V_{тр,з} = 0,96 \cdot (V_{пр,в} - 0,6). \quad (7)$$

Максимальная величина тростникового стока за месяц составляет 24% при $V_{пр,в} = 4 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. Расхождение между двумя методиками определения притока воды в Западный Балхаш составляет $0,1 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.

В третьей главе решается задача определения слоя атмосферных осадков, выпадающих на поверхность оз. Балхаш, подразделяющаяся на две части:

- введение поправок к величинам измеренных осадков на метеостанциях на суше в районе водного объекта;
- оценка среднего слоя атмосферных осадков, выпадающих на поверхность водоема, по их исправленным величинам на прибрежных метеостанциях.

При исправлении осадков, измеренных на метеостанциях, расположенных вокруг оз. Балхаш, была использована методика ГГО-КазНИГМИ. Поправки вводились к срочным наблюдениям, а затем вычислялись месячные суммы исправленных осадков.

Для реализации второй части поставленной задачи сначала была проведена классификация методов пространственного осред-

нения метеозаписей и осуществлен численный эксперимент по определению среднемноголетних месячных величин исправленных осадков. За эталон принят осредненный слой осадков, полученный по методу изогийет, поскольку этот метод учитывает анизотропность поля атмосферных осадков, что характерно для водоемов, имеющих сложную конфигурацию. По результатам численного эксперимента и анализа методов осреднения был выбран метод средневзвешенного при определении площадей, тяготеющих к пунктам наблюдений, применен метод "радиусов". Для устранения неоднородности полей осадков, обусловленной в разные годы количеством и расположением метеостанций, использовались поправочные коэффициенты.

В четвертой главе рассмотрен вопрос определения слоя испарившейся воды с поверхности водоемов. Испарение является основной расходной характеристикой водного баланса оз. Балхаш. Проведен анализ существующих методов расчета испарения с водной поверхности. Для достаточно крупных водных объектов, каким является оз. Балхаш, наиболее приемлемым является метод эмпирических формул. В подавляющем большинстве эмпирических формул использован закон Дальтона. Была произведена классификация и проанализирована структура ряда испарительных формул. Наиболее полно описывает процесс испарения формула, разработанная А.П.Браславским в 1985г. в КазНИИЭ:

$$E = \frac{1}{1/K + 1/K_0} \cdot \Delta e \quad (8)$$

где K и K_0 - интегральные коэффициенты массообмена водно-буферного слоя и атмосферы над ним. $K_0 = 350 \text{ мм}/(\text{сут} \cdot \text{гПа})$ по опытам измерения испарения в вакууме. K характеризует интенсивность вертикального переноса водяного пара в приводном слое атмосферы, обусловленном суммарным действием свободной и вынужденной конвекции; Δe - разность максимальной упругости во-

дяного пара и упругости водяного пара, принятой в расчетах высоты над водной поверхностью. Свободная конвекция связана с числом Грасгофа (Gr), вынужденная — с числом Рейнольдса (Re). При совместном их действии учтено, что с увеличением вынужденной конвекции уменьшается интенсивность свободной конвекции:

$$K = f_1(Re) + f_2(Gr) \cdot f_3(Re). \quad (9)$$

Для подтверждения правильности выбора испарительной формулы был проведен численный эксперимент, позволивший оценить точность расчетов по 17-ти наиболее известным испарительным формулам, по-разному аппроксимирующим процесс испарения. В качестве эталона при соблюдении некоторых условий приняты месячные и сезонные слои испарения, полученные по трем методам: из уравнения водного баланса водоема; из уравнения теплового баланса водоема; из показаний плавучих испарителей ГТИ-3000 с внесением достаточно обоснованных редуцированных коэффициентов, а также обогреваемого испарителя с обтекаемыми бортиками, установленного на испарительной площадке Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории ГТИ. Всего использовано 30 водных объектов. Наименьшая среднеквадратическая ошибка за сезон (4%) получена по формуле А.П.Браславского, а вероятная составила 1,7%. Все остальные испарительные формулы дают большую среднеквадратическую ошибку, колеблющуюся от 7 до 40% за сезон.

Для выявления систематических ошибок были построены кривые их обеспеченности. При обеспеченности $P = 50\%$ формула А.П.Браславского (1985г.) дает нулевую ошибку. Формула ГТИ дает ошибку на 4%, ВНИИГА — на 17% занижает величину сезонного испарения, а формула Рымши-Донченко — наоборот, завышает ее на 17%.

Средние над водоемом температуру воздуха ($t_a, ^\circ C$) и упругость водяного пара ($E_2, \text{гПа}$) на высоте 2 м над водной поверхностью рекомендуется рассчитывать по уравнениям, предложенным Тимофеевым. Для оценки среднемесячной величины коэффициента трансформации на оз.Балхаш была учтена конфигурация его водной поверхности и повторяемость направления ветра.

Расчет испарения с водной поверхности основывается на метео-элементах, измеренных на 10 прибрежных метеостанциях. Уточнена методика, позволяющая для этого использовать температуру воздуха и упругость водяного пара прибрежных метеостанций для оценки их в натекающем на водоем воздухе при сложной конфигурации водоема и наличии примыкающих увлажненных территорий.

Скорость ветра над водной поверхностью определена по сведениям о скорости ветра на метеостанциях, расположенных на суше. Методика определения переходного коэффициента K_p основана на использовании аэрологических среднемноголетних данных о скорости ветра на высоте 1000 м, где не сказывается шероховатость подстилающей поверхности. Приведена карта нормы скорости ветра на высоте 1000 м за безледоставный период. Впервые на основе сопоставления осредненных по интервалам значений скорости ветра, наблюдаемых над акваторией оз.Балхаш на рейдовых вертикалях и гидрологических разрезах за 1964-1982гг., выявлена четкая закономерность: коэффициент K_p увеличивается при малой скорости ветра на береговой метеостанции и уменьшается при большой. Данные М.И.Кривошей по ряду других водных объектов подтверждают наличие такой зависимости. Этот факт необходимо учитывать при расчете испарения с водных объектов, так как в противном случае величина испарения будет занижена при малой и завышена при большой скорости ветра. Температура поверхности водного

объекта получена из уравнения его теплового баланса. Уравнение решено методом конечных разностей для единичной призмы и единицы времени. В пределах расчетного интервала времени площадь водоема принимается постоянной и равной ее среднему значению. Рассмотрены составляющие теплового баланса. Температура поверхности воды, рассчитанная по этой методике, сопоставлена с натурными данными 6 водохранилищ-охладителей, расположенных в различных климатических зонах СССР. Вероятная ошибка определения среднемесячной температуры поверхности воды $0,8^{\circ}\text{C}$. Для выявления систематических ошибок при расчете t_n были построены кривые обеспеченности ошибок по предлагаемой методике и действующим техническим указаниям. При обеспеченности $P = 50\%$ ошибка расчета t_n по предлагаемой методике равна 0°C , а по техническим указаниям систематическая ошибка расчета составляет $0,6^{\circ}\text{C}$. Полученные результаты говорят о хорошей точности расчета теплового баланса водоемов, подтверждают корректность формул для определения его слагаемых и позволяют получить в среднем многолетнем близкие к истине величины температуры поверхности воды. Средний слой испарения за год для Западного Балхаша - 981, Восточного - 1005 и всего озера - 990 м. Испарение с восточной части больше, чем с западной на 24 мм (2%), что обусловлено различием упругости водяного пара в перемещаемом воздушном потоке и меньшей величиной альбедо суммарной солнечной радиации из-за меньшей мутности воды. Расхождение в месячных слоях испарения более существенно. Испарение в мае с поверхности Восточного Балхаша на 30% меньше, а в ноябре на 40% больше, чем с Западного.

В пятой главе рассмотрен вопрос о потерях воды в береговой зоне, возникающих при составлении солевого баланса оз. Балхаш. Правомерно говорить об общих потерях в береговой зоне озера (V_n), состоящих из объема фильтрующейся в берега водоема воды

(V_{φ}) и потерь воды за счет ветровых нагонов и сезонных колебаний уровня ($V_{\text{наг}}$). При таком подходе не вступают в противоречие результаты, полученные Институтом гидрогеологии КазССР (О.В. Подольный и С.М. Шапиро), оценивающие $V_{\varphi} = 0,45 \text{ км}^3/\text{год}$, и результаты, полученные из уравнения водного и солевого баланса различными авторами, $V_n = 0,7-1,58 \text{ км}^3/\text{год}$, так как $V_{\varphi} < V_n$. Используя сведения ГТИ о повторяемости нагонов и их величине, $V_{\text{наг}} = 0,4 \text{ км}^3$ в год, тогда $V_n = V_{\varphi} + V_{\text{наг}} = 0,85 \text{ км}^3/\text{год}$. На основании современных данных о составляющих солевого и водного баланса объем потерь в береговой зоне оценен, соответственно, в $0,98$ и $0,8 \text{ км}^3/\text{год}$. При составлении водных балансов оз. Балхаш V_n принят средним из величин, рассчитанных тремя методами, и равен $0,85 \text{ км}^3/\text{год}$, что не противоречит величинам потерь, полученным ранее другими авторами. Вероятная ошибка определения балансовыми методами от 5 до 20% самой величины потерь в береговой зоне озера. Составлены месячные водные балансы оз. Балхаш за 1937-1987 гг. (таблица).

Средняя многолетняя годовая невязка близка к нулю, среднеквадратическое отклонение $0,62 \text{ км}^3$, вероятная невязка $0,42 \text{ км}^3$. Относительные невязки месячных водных балансов $n \leq 20\%$. Даны рекомендации по составлению месячных водных балансов.

В шестой главе произведена оценка климатических и антропогенных факторов на составляющие водного баланса дельты р. Или и оз. Балхаш. Влияние на эти составляющие наполнения Капчагайского водохранилища и развитие Акдалинского массива орошения привели к резкому падению уровня оз. Балхаш до отметки 340,6 мБС (1987 г.), что на 1 м меньше уровня, который был бы при отсутствии таковых. Потери воды в дельте р. Или в этом случае уменьшились на $0,79 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. На рисунке приведен ход уровня оз. Балхаш при различных климатических условиях и антропогенных нагрузках как за 1937-1987 гг., так и на перспективу, а также суммарные инте-

Таблица

Среднегодовой водный баланс оз. Балхаш за период замкнутого цикла
изменения уровня, 10^9 м^3

Слагаемые баланса	Месяц												За год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$V_{пр. Или}$	0,610	0,550	0,983	1,047	1,014	1,244	1,443	1,455	0,983	0,901	0,853	0,763	11,847
$V_{пр. ар}$	0,088	0,111	0,225	0,415	0,487	0,456	0,393	0,272	0,159	0,189	0,195	0,156	3,149
$V_{ос}$	0,327	0,281	0,344	0,341	0,325	0,313	0,297	0,205	0,138	0,298	0,306	0,394	3,568
$V_{пл}$	0,005	0,005	0,119	0,282	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,011	0,462
Сумма при- хода	1,030	0,947	1,671	2,085	1,831	2,020	2,138	1,937	1,285	1,393	1,359	1,324	19,026
$V_{ис}$	0,062	0,105	0,311	0,670	1,995	2,988	3,534	3,479	2,641	1,665	0,773	0,110	18,334
$V_{п}$	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,850
Сумма рас- хода	0,133	0,176	0,382	0,741	2,066	3,059	3,605	3,550	2,712	1,736	0,844	0,181	19,184
ΔW_p	0,897	0,770	1,291	1,345	-0,234	-1,038	-1,466	-1,613	-1,428	-0,344	0,516	1,144	-0,158
ΔW_{ϕ}	0,695	0,642	1,260	1,120	0,306	-0,491	-1,594	-1,939	-1,209	-0,023	0,090	1,020	-0,121
Невязка	-0,202	-0,128	-0,031	-0,225	+0,540	+0,547	-0,128	-0,326	0,219	+0,321	-0,426	-0,124	0,037

Примечание: ΔW_p - изменение объема озера, рассчитанное по уравнению водного баланса;

ΔW_{ϕ} - фактически изменение объема.

графические кривые модульных коэффициентов основных составляющих водного баланса оз. Балхаш. Величины их за период 1970-1987 гг. оказались ниже тех, которые были в естественных условиях: испарение уменьшилось на $0,53 \cdot 10^9 \text{ км}^3$, осадки - на $0,31 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, приток к периметру Западного Балхаша - на $2,15 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. На основе анализа проведенных расчетов сделан вывод, что водных ресурсов бассейна оз. Балхаш не хватает для поддержания Или-Балхашской экологической системы на безопасном уровне даже при прекращении дальнейшего увеличения водозаборов на орошение (7,1 млрд. $\text{м}^3/\text{год}$ в 1987 г.) и прекращении наполнения Капчагайского водохранилища на отметке 475 мБС. Дефицит водных ресурсов и существующая тесная связь между солевым и водным балансом не позволяют восстановить естественную экологическую ситуацию в озере в целом. Наблюдения Казгидромета в 1988-1990 гг. подтверждают сделанный в работе вывод. В эти годы была осуществлена попытка поднять уровень оз. Балхаш до безопасной отметки и уменьшить минерализацию Западного Балхаша. Для этого из Капчагайского водохранилища в 1988 г. было сброшено $17,58 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, что подняло уровень озера до отметки 341,22 мБС, но минерализация воды Западного Балхаша возросла до 2,15 г/л, а в районе г. Балхаш увеличилась до 2,5 г/л. Это произошло из-за общего увеличения минерализации воды, поступающей в оз. Балхаш. Поддерживать такие высокие попуски водных ресурсов бассейна р. Или не хватает и в 1989, 1990 гг. они были уменьшены соответственно до $15,14 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ и $12,3 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, что не привело к распреснению Западного Балхаша, которое могло наступить при достижении более высокого уровня озера.

В заключении сформулированы основные результаты исследований: 1. Разработан метод определения месячных водных балансов оз. Балхаш и составлены месячные и годовые балансы за 50-летний период.

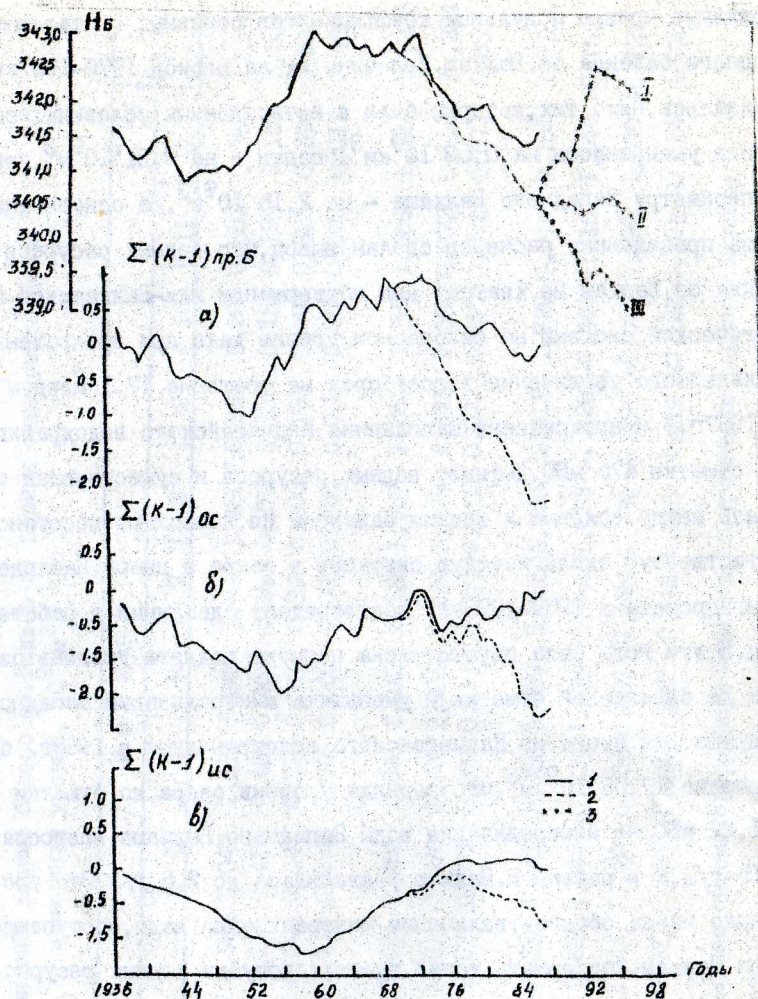


Рис. Ход уровня оз. Балхаш и разностные интегральные кривые модульных коэффициентов составляющих водного баланса:

- а) приток воды к периметру Западного Балхаша;
 б) поступление воды с атмосферными осадками;
 в) испарение с водной поверхности;
 I - в естественных условиях; 2 - при наличии Капчагайского водохранилища и Акдалинского массива; 3 - расчеты на перспективу:
 I - при многоводном десятилетии, отметка Капчагайского в-ща 475 мБС;
 II - при маловодном десятилетии, Капчагайское в-ще спущено;
 III - уровень озера при маловодном десятилетии и продолжении наполнения Капчагайского водохранилища.

В среднемноголетнем годовая невязка близка к 0, среднеквадратическое отклонение равно $0,62 \text{ км}^3$, а вероятная ошибка - $0,42 \text{ км}^3$. Относительные среднемесячные невязки не превышают 20%.

2. Приток воды к периметру Западного Балхаша рекомендуется рассчитывать, используя уравнение водного баланса дельты р. Или.

Предложена оригинальная методика определения площадей отдельных угодий дельты, учитывающая два фактора: изменение общей площади дельты при колебаниях уровня оз. Балхаш, изменения площади разливов воды в дельте при изменении расхода воды в ее вершине.

Получена зависимость, позволяющая по притоку воды к вершине дельты, оценить сток, поступающий в озеро по тростниковым зарослям.

Величины тростникового стока колеблются от $0,6 \cdot 10^9$ до $3,6 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.

Величина притока воды к периметру Западного Балхаша за условно-естественный период 1937-1969 гг. составила $12,8 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, с 1970 по 1987 гг. - $10,3 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.

3. Разработана методика расчета испарения с поверхности оз. Балхаш, где применена новая испарительная формула А.П. Браславского (1985 г.). Для сложной конфигурации оз. Балхаш уточнена трансформационная теория Тимофеева по определению метеоэлементов над водоемом по данным прибрежных станций, уточнен алгоритм определения скорости ветра и температуры поверхности воды. Средний слой испарения за год для Западного Балхаша - 981 мм, Восточного - 1005 и всего озера - 990 мм.

4. Оценено влияние Капчагайской ГЭС с водохранилищем многолетнего регулирования и Акдалинского массива рисосеяния на водный баланс оз. Балхаш и дельту р. Или. Величины составляющих водного баланса за год оказались меньше тех, которые были бы в естественных условиях: испарение на $0,53 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, осадки - на $0,31 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, приток к периметру Западного Балхаша - на $2,15 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. Потери в дельте р. Или уменьшались на $0,79 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ в год. Максимальная величина уровня

оз. Балхаш при отсутствии Капчагайского водохранилища и Акдалинского массива орошения была бы 343,05 мБС в 1973г., а к 1987г. уровень снизился бы под влиянием климатических факторов до отметки 341,6 мБС, что на 1м выше фактически измеренного.

5. Водных ресурсов бассейна оз. Балхаш не хватает для восстановления естественных экологических условий озера в целом. Распределение Западного Балхаша может произойти при достижении уровня более высокого, чем уровень 341,22 мБС 1989г. из-за повышенной минерализации поступающей по р. Или воды.

6. Невязки месячных водных балансов оз. Балхаш можно уменьшить, уточнив по крупномасштабной топографической съемке морфометрические характеристики водоема, а по аэрокосмической съемке дельты р. Или - площадь различных ландшафтных зон. В дальнейшем необходимо осуществить мониторинг Или-Балхашской экологической системы, взяв для обслуживания методик водного и солевого балансов водоема наблюдения Казгидромета в этом регионе.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Учет сложной конфигурации водоема при расчете температуры и влажности натекающего воздуха по данным наблюдений на прибрежной метеостанции // Труды КазНИИ. - 1985. - Вып. 91. - С. 72-75.
2. Расчет испарения воды с поверхности оз. Балхаш // Труды КазНИИ. - 1988. - Вып. 101. - С. 52-78 (в соавтор. с А. П. Браславским).
3. Уточнение методики определения скорости ветра на водном объектом // Труды КазНИИ. - 1989. - Вып. 104. - С. 96-101.
4. Расчет стока р. Или, поступающего в оз. Балхаш // Труды КазНИИ ГМИ. - 1990. - Вып. 107. - С.
5. Оценка точности современных формул, предложенных для расчета испарения с поверхности водных объектов // Труды КазНИИ ГМИ. - 1990. - Вып. 107. - С. (в соавтор. с А. П. Браславским).

Остроумова

Остроумова Любовь Петровна

ВОДНЫЙ БАЛАНС ОЗ. БАЛХАШ И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО
КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

(II.00.II - Охрана окружающей среды и рациональное
использование природных ресурсов)

Подписано к печати 01.10.91. Формат бумаги 60x84 I/16.
Объем 1,3 п. л. Заказ 971. Тираж 100. Бесплатно.

УОП Казгидромета, г. Алма-Ата, пр. Абая, 32