

Министерство образования Российской Федерации

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

РГБ ОЛ

1 8 янв 2000

УДК 556.512

ДОКУБУ ЖОЗЕФ-РУДОЛЬФ

ВОДНЫЙ БАЛАНС И УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА ЧАД

Специальность 11.00.07-гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Автореферат диссертации

на соискание ученой степени кандидата географических наук

Санкт-Петербург

2000

Работа выполнена в Российском Государственном Гидрометеорологическом университете

Научный руководитель: Доктор географических наук, профессор
Догановский А.М.

Официальные оппоненты: Доктор географических наук, профессор
Кондартович К.В.
Кандидат географических наук, с.н.с.
Гронская Т.П.

Ведущая организация: Институт озераедения РАН


Защита диссертации состоится «27» декабря 2000 г. в 15.30 на заседании диссертационного совета К063.19.01 Российского государственного гидрометеорологического университета

Адрес: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

-- С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГМУ.

Автореферат разослан 07 декабря 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета


А.В. Лубяной

29(6)276 1 420 0

2926 0 0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение уровня режима озера Чад является чрезвычайно актуальным, так как от высоты стояния уровня в озере, его изменчивости во времени зависят многие режимные характеристики этого водоема, его состояние. От наполнения озера, с которым тесно связаны его размеры, зависят: динамика вод, минерализация, развитие высшей водной растительности и, соответственно, кормовая база ихтиофауны. С высотой стояния уровня связаны выловы рыбы, судоходство, водоснабжение, орошение, а также польдерное хозяйство, микроклимат и т.д. От состояния озера зависит уровень жизни большого количества людей, проживающих на его берегах в странах Камерун, Чад, Нигерия, Нигер.

Одновременно изучение уровня режима озера имеет большое значение для науки. Расположенное в гипераридной и аридной зонах, озеро представляет собой хороший индикатор изменения климата в этом районе Африки. Периоды высокого и низкого стояния уровня характеризуют смещение и продолжительность периодов повышенного и пониженного увлажнения, а резкие кратковременные снижения уровня указывают на засухи.

Установление закономерностей колебаний уровней этого инерционного водоема позволит перейти к возможным предсказаниям его наполнения в будущем.

Цель исследования заключается в исследовании и установлении закономерностей колебаний и условия формирования уровня озера Чад. При этом рассматриваются многовековые колебания уровней, уровней за период инструментальных наблюдений, за годовые временные интервалы, а за последние 25 лет – по месяцам. При этом целью работы было также установление влияния на флуктуации уровней озера климатических факторов и факторов подстилающей поверхности (активных и адаптивных факторов). В качестве таких активных факторов – показатели: температура воздуха и

атмосферные осадки. В качестве адаптивных факторов рассмотрены характеристики устройства озерной системы: размеры бассейна, озера, форма его котловины, так называемая действующая и пассивная площади водосборов и др. Предполагается, что эти характеристики, а также хозяйственная деятельность оказывают влияние на структуру водного баланса озера и создают условия для формирования неповторимого уровня режима.

Методика исследования. В качестве методики, позволяющей оценить условия формирования уровня режима, использован прием трансформации климатического сигнала, преобразованного озерной системой в уровень. При этом предварительно рассмотрены составляющие водного баланса. Расчеты этих составляющих в основном проведены по методике, используемой в России. А в качестве исходных данных привлечены материалы стационарных наблюдений на сети гидрометеорологических станций, использованы также для контроля опубликованные результаты наблюдений по межгосударственной программе ORSTOM. Для определения структуры рядов составляющих балансы применены методы статистического анализа: анализ кривых распределения, спектральный анализ, фильтрация рядов, определение трендов и т.д. При этом параметры кривых распределения связаны с особенностями природных условий Сахары и Сахеля.

Научная новизна. Впервые для озера Чад за многолетний период (1933-1996 гг.) составлены годовые водные балансы и определены статистические характеристики его элементов. Также впервые за длительный период наблюдений (1970-1996 гг.) определены месячные водные балансы и вычислены их статистические характеристики. Разработана схема трансформации результирующих водного баланса в уровень озера. Сделана попытка оценить дополнительные гидрологические показатели в дельтах рек Шари и Эль-Бейд. Отдельно рассчитаны водные балансы и уровни в условиях деления озера на два изолированных водоема в засушливые периоды.

Практическая ценность. Учет периодов высокого и низкого стояния уровней для организации наиболее целесообразного использования озера в хозяйственных целях. Оценка поведения уровня режима при известных будущих изменениях температуры и осадков в Центральной Африке. Ретроспективная оценка климатических условий в прошлом в этом регионе.

Апробация работы. Работа рассмотрена и одобрена на научном семинаре кафедры гидрологии суши Российского государственного гидрометеорологического университета.

Структура работы. Диссертация состоит из введения и четырех глав, заключения и списка использованной литературы на русском и других языках. Объем работы 110 страниц, включая рисунки и таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении дается общая характеристика озера и его бассейна, их местоположение, приводятся его основные размеры в сравнении с другими крупнейшими озерами Африки. При этом отмечаются уникальные особенности этого водоема, расположенного на границе гипераридной и аридной зон, такие как: существование периодического стока из него, малая минерализация, сильная вариация размеров и т.д. Рассмотрено его хозяйственное использование и показана значимость для стран, расположенных на берегах этого водоема. Формулируются цели и задачи исследования и производится оценка полноты исходных материалов для решения поставленной задачи.

В первой главе рассмотрена история возникновения и эволюция озера Чад и его бассейна. Дается справка о природных условиях Африки за этот период. Максимальное наполнение озера наблюдалось 35-40 тысяч лет назад до отметки 400 м. абс., а площадь водоема превышала 400000 км². Последнее повышение уровня наблюдалось 5-8 тысяч лет тому назад, после чего происходит неуклонное снижение уровня, на фоне которого формируются

кратковременные периоды подъёмов и спадов. В настоящее время уровень озера зафиксирован на отметках 277-283 м. Озеро мелеет не только за счет снижения уровня, но и за счет поступления большого количества наносов из рек. Аномально низкая соленость озера обуславливается наличием периодического стока по реке Бахр-эль-Газаль в котловину Боделе. Однако сток воды из озера осуществляется только при превышении отметки 283 м, то есть в период повышенной увлажненности. При отметках более 400 м озеро соединяется с котловиной Боделе и образует один водосм. При отметках менее 278.9 м озеро делится на два водоема – Северный и Южный. Современное понижение уровня может привести к тому, что озеро станет бессточным и минерализация начнет повышаться. При этом северная часть прекратит свое существование.

Существование огромного водоема в историческом прошлом в центре Сахары говорит о высокой увлажненности территории в то время. При возрастании засушливости климата и уменьшении площади озера существовало некоторое количество впадающих рек, которые в настоящее время представлены сухими руслами. Таким образом в своей эволюции озеро Чад проходит стадии, определяемые высотой стояния уровня: древнее озеро «Мега-Чад», площадью более 400000 км², «Большой Чад» с площадью до 250000 км², «Средний Чад» с площадью 15000-25000 км² и «Малый Чад» – это южная впадина с площадью менее 8000 км².

Современное озеро Чад это мелководный водоем, существующий последние 100 лет, площадью примерно 16000 км², при отметке уровня 280 м. Средняя глубина равна примерно 5 м. При этом средняя глубина Северной части 6.5 м, Южной – 3.5 м. Береговая линия сильно изрезана, с большими зарослями камыша, и поэтому очень трудно определить динамичную береговую линию и, следовательно, точно зафиксировать площадь озера и многочисленных островов с площадью около 5000 км².

Берега озера к тому же сильно заболочены, а в устьях впадающих рек имеются обширные переувлажненные участки — дельты. Особенно велика дельта реки Шари — главного притока. Съёмка озера проведена в 1944 г. На основании плана построены батиграфическая и объёмная кривые. За последние 130 лет площадь озера уменьшилась с 25000 км² до 7500 км² (Малый Чад). В течение нескольких лет за это время существовала цепь из озёр и 6 полных лет озеро было разделено на два водоема. Площадь водосбора современного озера Чад составляет 1.2 миллиона км² со средней высотой 400-600 м. и ограничена естественным водоразделом, проходящим через чередование возвышенностей, плато. Наивысшая отметка плато Камерун — 3071 м, плато Эннеди — 1450 м, нагорье Тибести с горой Эми-Куси — 3415 м, плато Аххагар — 3000 м. Большая часть бассейна озера занята пустыней Сахарой, лишенной растительности, южная часть более увлажнённой областью Сахель. Самая южная часть расположена в зоне тропических лесов и граничит с бассейном реки Конго.

Гидрографическая сеть представлена постоянно действующими реками Шари (площадь водосбора 700000 км²), Эль-Бейд (118200 км²), Комадугу-Йобе (115000 км²). Наиболее крупная из них река Шари относится к числу крупнейших рек Африки: длина реки 1500 км, исток ее лежит на высоте 1132 м. Наиболее крупные ее притоки — реки Бахр-Сара, Бахр-Саламат, Грибинги, Логоне. В низовьях у реки Шари имеется большая дельта, в которую впадают также постоянно действующие реки Амгумба и Ядсерам. Истоки реки лежат в увлажнённой области тропических лесов. Река Эль-Бейд также впадает с юга в озеро. Она имеет гораздо меньшую водность, чем река Шари. Комадугу-Йобе с притоком Комадугу-Гана и впадает в озеро с запада. Остальные реки представляют сухие русла, некоторые из которых имеют эпизодический сток в период дождей, но до озера не доходят.

В бассейне озера имеется несколько пересыхающих озёр, но озеро Фитри постоянно наполнено водой. Пересыхающие реки в основном «стекают» с возвышенности на севере и востоке.

Во второй главе дается физико-географическая характеристика территории, характеризующая условия системы озера Чад. Большая протяженность бассейна с севера на юг, сложный и разнообразный рельеф предопределяет разнообразие климатических условий, и прежде всего, соотношения потоков тепла и влаги. Согласно величине индекса сухости, установленном ЮНЕСКО (K), которое наблюдается на территории водосбора озера Чад, вся территория севернее 15° с.ш. ($K < 0.001$) относится к гипераридной зоне тропического и субтропического пояса. На южной оконечности озера ($K = 0.25$) протянулась аридная зона доходящая до среднего течения реки Шари, и далее полуаридная ($K = 0.5$); на самом юге водосбора переходящая в увлажненную зону экваториального леса ($K > 1.3$).

Вместе с изменением сухости меняется видовой состав растительности, почвы. Северная часть относится к зоне песчаных пустынь с соответствующей растительностью, а южная к зоне саванн и далее к зоне экваториальных вечнозеленых лесов. При этом осадки, увеличивающиеся к югу, определяют не только тип ландшафта, но и структуру водного баланса, коэффициент и слой стока. Особенно изменчив по территории коэффициент стока, увеличивающийся от 0 на севере (все осадки испаряются) до 0.2-0.3 на юге. Поскольку большая часть территории имеет равнинный рельеф, то осадки зональны в широтном направлении, увеличиваясь с севера на юг от менее 10 мм до 1000 мм. Испаряемость, при этом, изменяется от 2500 мм до 1200 мм. Еще более сложное пространственное распределение имеет речной сток, который повышается на склонах водораздельных пространств. Годовой речной сток изменяется от 1 мм до 500 мм (верховья реки Логоне).

Среднегодовое водный баланс системы озера Чад характеризуется осадками – $P = 700$ мм, испарением – $E = 600$ мм, поверхностным стоком – $R = 40$ мм. Так как система озер представляет собой замкнутое пространство, то все выпадающие осадки испаряются.

Формирование пространственных полей осадков и температур воздуха на рассматриваемой территории определяется направлением и интенсивностью воздушных потоков, степенью увлажнения, особенностями физико-географических условий. Наиболее существенная часть режима увлажнения формирует условия вторжения на континент теплого и влажного морского воздуха. Распространение и динамику этих воздушных масс определяет ВЗК. При этом годовые суммы осадков и, следовательно, уровни озера Чад зависят от степени продвижения ВЗК на север. Чем дальше эта зона продвигается к северу, тем больше осадков и продолжительность сезона дождей, при ее отступлении, наоборот, наблюдается дефицит осадков. В разделе дается объяснение механизма уменьшения или увеличения количества осадков. Отмечается также большая неравномерность их выпадения. Максимум осадков наблюдается в период дождей в июле-августе, то есть лето в Сахаре и Сахеле является наиболее влажным периодом. Практически отсутствуют осадки в зимний период. Продолжительность сухого периода в Сахаре 6-7 месяцев, в Сахеле достигает 2-3 месяца. При продвижении на юг продолжительность сухого сезона уменьшается до 2-3 месяцев, а в верховьях реки Шари он практически отсутствует.

Изученность озера неудовлетворительная, так как нет единой гидрологической службы. Поэтому наблюдениями занимаются сразу несколько организаций. Гидрологические наблюдения на озере проводятся на станции Бол с 1953 года. Отдельные сведения имеются еще по ряду пунктов. На реках региона действует 78 постов и лишь 3 из них – на реках, непосредственно впадающих в озеро Чад. Сеть метеостанций также недостаточна, их плотность невелика. Непосредственно на берегу озера действует 3 станции. Большую роль в изучении озера играют международные научные программы, такие как ORSTOM с участием французских специалистов. Разработаны также местные программы. Например, совместная программа четырех государств (Камерун,

Чад, Нигерия, Нигер) по изучению озера для целей развития рыбного хозяйства.

Озеро Чад играет большую роль в хозяйстве стран, расположенных на берегах озера. Основной вид использования – прежде всего орошение, устройство полей. Работа полей требует широкого гидротехнического строительства – плотины, дельты для изоляции территории озерной поймы от вод озера. На притоках (р. Логоне, р. Комадугу-Йобе) работают водохранилища, их водосборах производится вырубка лесов. В настоящее время работает программа по экспертизе действующих гидротехнических систем с целью их модернизации.

Третья глава посвящена исследованиям водного баланса изучаемого озера. Приведены приемы определения составляющих баланса, принятые в России. Большое место в диссертации отведено анализу существующих балансов озера, составленных ранее разными авторами. При этом проводятся сведения о натуральных исследованиях, проводимых по программе ORSTOM.

Водный баланс озера Чад представлен в виде:

$$W_{\text{пр.}} + W_{\text{ос.}} - W_{\text{исп.}} - W_{\text{д.}} - W_{\text{э.}} = \pm \Delta W, \quad (1)$$

где $W_{\text{пр.}}$ – приток воды в озеро по рекам и подземным путем,

$W_{\text{ос.}}$ – осадки на озеро,

$W_{\text{исп.}}$ – испарение с поверхности воды,

$W_{\text{д.}}$ – потери воды с переувлажненных дельтовых участков,

$W_{\text{э.}}$ – сток воды из озера,

ΔW – приращение объемов воды.

Это уравнение применено и для годовых балансов, и для месячных.

Приток в озеро осуществляется с площади, освещенной ($F_{\text{ос.}}$) и неосвещенной ($F_{\text{н.о.}}$) наблюдениями. Необходимо отметить, что северная часть бассейна, расположенная в гипераридной зоне, практически не принимает

участия в формировании притока. Поэтому фактически сток осуществляется с площади 1.2 млн. км². В том числе 830000 км², включающей водосборы трех наиболее крупных рек: Шари, Эль-Бейд, Комадугу-Йобе, имеющих постоянный сток. $F_{н.о.}$ составляет 370000 км². Для определения $W_{н.о.}$ вся территория разделена на три зоны, тяготеющие к лучше изученным рекам, которые и послужили аналогами. Восточная часть $F_{н.о.}$ тяготеет к реке, являющейся самым северным притоком реки Шари. Расчеты показали, что приток с площади $F_{н.о.}$ составляет не более 2 % от суммарного притока воды в озеро и часть его может задерживаться в многочисленных польдерных системах, и лишь в наиболее многоводные годы величина $W_{н.о.}$ становится значимой. Поэтому при определении $W_{пр.}$, как правило, принимался во внимание сток лишь 3-х рек.

При подсчете суммарной величины $W_{пр.}$ учтены потери в дельтах рек Шари и Эль-Бейд. Для этих целей решено уравнение водного баланса этой переувлажненной территории. Для расчета составляющих баланса использованы данные наблюдений по метеостанции Нджамена. Среднемноголетний приток в озеро Чад за период 1933-1996 гг. равен 31.2 км³. Максимальное значение $W_{пр.} = 58$ км³ относится к 1961 г., минимальное $W_{пр.} = 7.8$ км³ – к 1984 г.

Месячные значения $W_{пр.}$ рассчитаны за период 1965-1996 гг. Максимум притока наблюдается в сентябре-октябре, несколько позже, чем прохождение сезона дождей, а минимум – в апреле июне. Максимальное значение $W_{пр.}$ зафиксировано в ноябре 1975 года – 10.5 км³, минимальное – 0.04 км³ – в марте-мае 1986 г. В отдельные месяцы дополнительный приток дают реки Идсерам и Амгумба, впадающие в озеро с юга, а река Комадугу-Йобе, наоборот, не доходит до озера.

Определение атмосферных осадков ($W_{ос.}$), выпадающих на поверхность озера, произведено путем взвешивания по 5 метеорологическим станциям, расположенным на берегу озера и вблизи его. При этом анализ корреляционной

матрицы, составленной по 12 станциям Сахары и Сахеля, показал, что осадки выпадают неравномерно и для корректного осреднения расстояние между станциями не должно превышать 150-200 км. Осадки выпадают, как правило, в течение 5-6 месяцев в мае-октябре. Максимальное значение приходится на август. Минимум поступления осадков на озеро наблюдался в августе 1954 г. – 547 мм, а всего за тот год выпало 700 мм ($W = 5.97 \text{ км}^3$). Минимум годовых осадков наблюдался в 1984 г. – 157 мм ($W = 1.34 \text{ км}^3$). При этом на южную часть озера осадков выпадает больше, чем на северную.

Испарение с поверхности озера ($W_{\text{исп.}}$) определено по данным двух метеостанций, расположенной в северной и южной частях озера (Фая, Бол), а для расчета испарения с дельт рек Шари и Эль-Бейд по станции Нджамена. Отсутствие в нашем распоряжении необходимых метеорологических данных заставило обратиться к упрощенному методу определения испарения Торнтвейта. Уравнение Торнтвейта позволяет определять ежемесячно максимально возможное испарение лишь по температуре воздуха, измеренной на метеорологической станции и по ее координатам. Предполагается, что испарение с озера близко к испаряемости:

$$E_0 = 1.6(10t^0/T-E)^n, \quad (2)$$

где E_0 – потенциальное испарение за месяц, см,

t^0 – средняя месячная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$,

$T-E$ – эффективная температура воздуха в различных климатических зонах,

n – показатель степени.

Определение параметров уравнения (2) производится по разработанному автором методу. При этом учитывая малую солесность воды озера, поправка на минерализацию в уравнение (2) не вводилась.

Достаточно часто используемый различными авторами метод Торнтвейта, тем не менее, может давать удовлетворительные результаты при

условии его корректировки по фактическим данным. Такие данные получены по упоминавшейся уже международной программе ORSTOM, представляют собой опубликованные эпизодические сведения о результатах наблюдений за испарением на испарителях, установленных на ряде озер, расположенных в аридной и гипераридной зонах. Расчеты по уравнению (2) проведены ежемесячно за 1933-1996 гг. Годовые значения F_0 изменяется по станции Фас от 2160 мм (1956, 1977 гг.) до 2280 мм (1955, 1969 гг.). По станции Бол от 1640 мм (1955 г.) до 2290 мм (1970 г.).

В течение всего года 30 % поверхности озера Чад покрыто камышами, заросли которых уменьшаются в многоводные периоды. К рассчитанным величинам испарения введены поправки на транспирацию с заросших камышом участков озера, что увеличило суммарное испарение с поверхности озера. Среднее суммарное испарение получено методом взвешивания значений в отдельных пунктах. Среднепогодная величина $W_{исп.} = 43.0 \text{ км}^3$, максимальное испарение наблюдалось в 1962 г. и равнялось 55.3 км^3 , минимальное – в 1990 г. – 19.4 км^3 .

Таблица

Водный баланс за многолетний период и за характерные по водности годы

| Годы | | F_0 , км^2 | Составляющие баланса, км^3 | | | Приращение уровня, км^3 | |
|---------|--------------|--------------------------|---|-----------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | $W_{пр.}$, с учетом потерь в дельтах | $W_{ос.}$ | $W_{исп.}$ | расчет- ное ΔW_p | Факти- ческое ΔW_ϕ |
| 1962 | Максимальный | 22460 | 47.8 | 7.0 | 55.3 | 0 | 5.3 |
| 1948 | Средний | 15794 | 31.2 | 4.0 | 43.0 | -3.6 | - |
| 1983 | Минимальный | 9314 | 12.4 | 1.9 | 23.2 | -10.2 | - |
| Среднее | | 15044 | 28.4 | 5.2 | 36.7 | 9.5 | -30 |

Испарение достаточно равномерно распределяется внутри года. Его максимум наблюдается в апреле-июне, минимум – в декабре-январе.

Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с фактическими измерениями испарения за отдельные периоды и годы, приведенные в работах Родье по гидрологии аридной зоны, выполненные по программе ORSTOM.

Сток из озера по протоке Бахр-эль-Газаль ($W_{ст}$) за исследуемый период наблюдался лишь в отдельные месяцы в 1960 годах. Однако, не располагая никакими данными о стоке, в годовые водные балансы этот сток не включен. Месячные балансы составлены начиная с 1970 г. когда стока по протоке не было.

Элементы водного баланса озера не являются полностью независимыми. Рассчитанные коэффициенты корреляции между уровнем озера и осадками оказались равными 0.57, притоком и уровнем 0.51, уровнем и испарением –0.31. Коэффициент корреляции между осадками и притоком 0.46, а притоком и испарением –0.65.

При увязке баланса использовались приращения объемов, определенные как разница между уровнями на начало и конец календарного года. В распоряжении имелись ежедневные уровни, измеренные на водомерном посту Бол за период 1954-1977 гг., 1983-1984 гг., 1989-1992 гг. Поэтому оценка годовых балансов проведена за этот период. Максимальные расхождения между фактическими и рассчитанными приращениями составили 70 % (1954 г.) и 7.7 % (1989 г.). Абсолютные величины в 1954 г. составили фактические +9.2 км³, по балансу +16 км³, в 1989 г. соответственно: –3.9 км³ и –4.2 км³. Полученные результаты дают возможность предположить, что и за другие годы расчеты удовлетворительные.

Являясь бессточным водоемом, озеро Чад обладает достаточно высокой инерцией колебаний уровней, поэтому многолетний ход уровней представляет

собой осредненную кривую их приращений. Совмещенные графики колебаний фактических уровней за 1933-1996 гг. и рассчитанных по водному балансу дали удовлетворительное схождение.

Таким образом, наличие предполагаемых значений метеорологических данных и речного притока в водоем позволяет смоделировать ход уровня воды в озере Чад.

Попытка составить месячные балансы за 1970-1996 гг. не привела к положительным результатам из-за отсутствия сведений по подземному притоку, вариации размеров зарослей травы в отдельные месяцы в дельте реки Шари и т.д. Тем не менее рассчитанные величины $W_{пр.}$, $W_{ос.}$, $W_{исп.}$ приводятся и дают возможность оценить вклад каждой из составляющих при формировании уровня озера. В разные месяцы этот вклад различен. В начале дождевого периода их объем близок объему притока воды по рекам, в период выпадения максимального количества осадков начинается увеличение стока, который превосходит объем осадков в 3-4 раза, затем с запаздыванием на 1-2 месяца расход воды в реках резко возрастает и превосходит осадки в десятки раз.

При делении озера на два водоема при низком стоянии уровня северная его часть в отдельные месяцы высыхает почти полностью, площадь оставшейся южной части уменьшается, однако уровни в связи с уменьшением площади озера могут возрастать.

В четвертой главе анализируются внутригодовые и многолетние колебания уровня озера, а также составляющие водного баланса.

Ряды уровней за все рассматриваемые периоды имеют достаточно хорошо выраженный отрицательный линейный тренд, на фоне которого проявляются периоды высокого и низкого стояния уровня воды. Несмотря на это была предпринята попытка анализа кривых распределения. За период 1933-1996 гг. отмечается неоднородность ряда, нарушение которого вызвано в зоне низких уровней при 70 % обеспеченности из-за деления озера в отдельные месяцы на два водоема. Вторая часть водоема имеет более высокую вариацию

уровня и большую асимметрию. Если пренебречь этой неоднородностью, то параметры кривой распределения ряда уровней озера за 64 года равны: $C_V=0.43$, $C_S=0.13$, первый коэффициент автокорреляции $r(1)=0.9$, $\bar{H}=3.1$ м. Ряд имеет циклическую структуру, однако его непродолжительность не дает возможности надежно оценить периоды высокого и низкого стояния уровней. Тем не менее, на спектрах прослеживаются «всплески» на 42 и 22 годах. Эти же периоды прослеживаются по ряду уровней с 1852-1996 гг. Основное количество воды, поступающей в озеро, как известно приходится на суммарный речной приток. параметры кривой распределения: $\sigma=195$, $C_V=0.24$, $C_S=-0.16$, $\bar{Q}=812$ м³/с. Отрицательная асимметрия во многом объясняется влиянием засух и в этот период интенсивным забором воды на ирригацию. Максимальный расход воды по рекам составил 1730 м³/с, в то время как минимум всего 244 м³/с. наиболее заметные периоды повышенной и пониженной водности зафиксированы в 3-4 года и около 40-42 лет.

Атмосферные осадки, выпавшие на поверхность озера, имеют незначительный «вес» в формировании его уровня. Однако режим осадков, выпавших на больших площадях, во многом определяет режим общего прихода воды в озеро, а, следовательно, и влияет на уровень водоема. Кривая распределения рядов осадков, выпавших на поверхность озера, показала значительную их вариацию и асимметрию. За 64-х летний ряд $C_V=0.30$, $C_S=0.62$, $r(1)=0.24$. Даже определенные по большей площади осадки имеют малую внутрирядную связанность, поэтому продолжительность серий лет с большим и малым количеством осадков не наблюдается, хотя заметны «всплески» в районе 20-22 лет.

Испарение полностью определяет потери воды из озера. Определенное по формуле (2), испарение полностью зависит от температуры воздуха. Коэффициент корреляции равен $r_{t,e}=0.84$. Средняя температура воздуха изменяется в течение 1933-1996 гг. незначительно и размах ее колебаний составил всего 2.1 °С. Поэтому и испарение имеет малую изменчивость:

$C_V=0.07$, а периоды повышенных и пониженных величин E составляет около 11 лет. Можно отметить, что ряды испарения представленные в миллиметрах слоя стационарны, в то время как представленные в кубических километрах на поверхности озера имеют отрицательный тренд. Это при общем потеплении и повышении температуры воздуха за рассматриваемые 64 года примерно на 0.1-0.2 °С. Такое большое влияние оказывает меняющаяся площадь озера. Эта же причина предопределяет и изменение продолжительности серий высоких и низких значений испарения. Таким образом слабое снижение значений осадков, притока, испарения предопределяет снижение уровней озера.

Являясь бессточным водоемом, озеро Чад имеет очень замедленный внешний водообмен. Средняя величина водообмена (K_B) за рассматриваемый период составляет 1 раз в год. Такой замедленный водообмен и предопределяет формирование длинных серий лет высокого и низкого стояния уровней воды. Подобная их продолжительность отмечена и на многих других бессточных водоемах с такой же интенсивностью водообмена (озеро Большие Чаны в России, Балхаш в Казахстане и др.).

Исследование месячных значений уровня озера и составляющих водного баланса позволило установить ряд особенностей в структуре этих рядов за 1965-1994 гг. Период дождей начинается в апреле – поэтому анализировались ежемесячные кривые распределения начиная с этого месяца. В начале дождевого периода (IV-V) ряды имеют высокую асимметричность – $C_S=4.5-4.6$ и вариацию $C_V=3.7-3.0$, т.к. в отдельные годы дождей не было вообще. Эти характеристики постепенно уменьшаются и достигают минимума в период выпадения самых больших дождей: в июле $C_V=0.74$, $C_S=0.65$, в августе $C_V=0.81$, $C_S=1.76$. Затем опять возрастают в сентябре и соответственно составляют 1.20 и 2.72, в августе 2.58 и 3.91. такое распределение осадков оказывает заметное влияние на другие составляющие баланса. Параметры кривой распределения испарения (мм) также изменяются по месяцам. В период прохождения дождей; во вторую половину года снижается величина

коэффициентов вариации и асимметрии. Максимум $C_V=0.46$ наблюдается в первой половине года, а C_S превышает 1.0, а затем они снижаются соответственно до 0.26–0.70 и до 0. Такое же распределение параметров и у речного притока. В засушливое время года C_V превышает 0.6–0.7, а $C_S=1$, снижаясь в период прохождения паводков до соответственно 0.28–0.30 и 0–0.2. Таким образом, уменьшение параметров кривой распределения наблюдается в летний период, в период наибольшего увлажнения таким же образом изменяются и месячные ряды уровней озер.

В заключении представлены основные результаты исследований, выполненные в настоящей работе, сводящиеся к следующему:

1. На основании имеющихся ограниченных данных гидрометеорологических наблюдений рассчитаны составляющие водного баланса за 1933–1996 гг. по годовым интервалам, с 1970 и 1996 г. по месячным.
2. Разработан прием трансформации составляющих водного баланса в уровень озера и предложение путей предсказания уровней в будущем по различным сценариям метеорологических данных.
3. Установлена структура водного баланса и выявлены факторы, влияющие на уровеньный режим.
4. Рассмотрены месячные значения баланса и установлены причины изменения структуры месячных рядов.

5. Некоторые расчеты и выводы получены для этого водоема впервые. Однако ограниченность данных не позволяет достоверно решить то количество задач, которые поставлены.