

Комаринский Д.В.

(Dim kom@mail.ru) Российский государственный гидрометеорологический университет

«Закономерности распределения озёр с разной структурой водного баланса по территории северной и центральной Евразии»

Научная статья

Введение

Водный режим озёр и впадающих в них рек представляет собой единую саморегулирующуюся систему. Поэтому многолетний ход уровня воды в озёрах имеет важное гидроклиматическое значение, поскольку в нём, как в зеркале, в интегральном виде отражаются естественные и возможные антропогенные изменения климата и водоносности рек.

Колебания уровней воды в озёрах, как известно, определяются соотношением приходных и расходных статей водного баланса - осадков, испарения, стока. В отличие от рек, уровень которых довольно быстро реагирует на изменение климатических условий, озёра, особенно большие, обладают значительной гидрологической инерцией. В то время, как уровень воды в реках зависит прежде всего от притока воды в их русла в данный момент, уровень воды в озёрах определяется не только приходно-расходным балансом данного года, но на нём отражаются климатические условия прошлого.

Наряду с оценкой стационарности климата и водного режима многолетние наблюдения за колебаниями уровня озёр представляют значительный интерес при решении и другой гидроклиматической проблемы - проблемы цикличности климата и, соответственно, водного режима, которая в последние годы многими, если не отвергается, то и не признаётся.

Поэтому объектом исследования в данной работе выступают озёра, расположенные в разных физико-географических условиях. Цель - исследование озёр, как результата взаимодействия меняющегося климата и подстилающей поверхности.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить вопросы, касающиеся изменений климата и предсказания климатических ситуаций в ближайшей перспективе;
- выбрать характеристику, которая могла бы дать качественную оценку взаимодействия климатических факторов с факторами подстилающей поверхности и одновременно отражающую водный баланс водоёма для её последующего картирования;
- построить карты распределения озёр с разной структурой водного баланса для

прогнозируемых климатических условий;

-проанализировать предполагаемые изменения водного баланса озёр и возможные их последствия.

Климатические условия и их изменения

Для исследования выбрана территория Северной и Центральной Евразии, большая площадь которой располагается в пределах бывшего СССР и Монголии. Исследуемая территория представлена большим разнообразием климатических зон и ландшафтов: от зон избыточного увлажнения до зон недостаточного, что открывает возможность изучения типов озёр в разных физико-географических условиях.

Колебания климата происходили на протяжении всей истории Земли, о чём свидетельствуют исторические источники и палеоклиматические данные [1]. Они характеризовались как изменениями метеорологических условий со своими экстремумами, так и повторяемостью погодных явлений, наносивших большой экономический ущерб отдельным государствам и вызывавших гибель тысяч людей. Условно, естественные механизмы, влияющие на климат, можно разделить на три группы:

1. астрономические факторы, обусловленные процессами, происходящими на Солнце и в Солнечной системе в целом, а также изменениями геометрии Земной орбиты;
2. геофизические факторы, связанные со свойствами Земли как планеты;
3. циркуляционные факторы, зависящие от процессов внутри самой атмосферы при её взаимодействии с другими компонентами климатической системы, и прежде всего с циркуляцией атмосферы (и в меньшей мере - с циркуляцией вод океана). На циркуляционные факторы в значительной мере влияют как астрономические, так и геофизические факторы изменения климата.

Так как современное состояние климата совместно с ландшафтом определяет существующее расположение озёр и их проточность, предпримем попытку охарактеризовать будущее расположение сточных, бессточных и периодически сточных озёр в условиях меняющегося климата.

В настоящее время нет надёжных прогнозов региональных изменений климата, поэтому и оценка гидрологических последствий этих изменений должна опираться на различные сценарии возможных климатических условий в будущем.

В последние десятилетия получила распространение точка зрения, связывающая изменения глобального климата с хозяйственной деятельностью человека. По мнению ряда исследователей (М.Н. Будыко, К.Я. Винников, Манабе и др.), причиной этому являются прежде всего выбросы в атмосферу большого количества углекислого газа и других продуктов сгорания и вырубка лесов, что способствует возникновению парникового эффекта.

В настоящее время среди способов предсказания климатических ситуаций, часто используемыми в практике гидрологических расчётов являются палеоклиматические сценарии, основанные на использовании в качестве аналогов будущего климатических условий более тёплых эпох прошлого. Вместе с тем, очевидны трудности и ограничения, связанные с применением этих методов, которые объясняются, во-первых, условностями принимаемых аналогий климатических периодов прошлого и будущего, и, во-вторых, отсутствием надёжных палеоклиматических данных для многих регионов и стран мира.

Другим, более научно обоснованным и получившим в последнее время большее распространение, наиболее мощным и, одновременно, перспективным инструментом оценки возможных в будущем изменений климата большинство специалистов считают сложные трёхмерные модели климатической системы, основанные на дифференциальных уравнениях в частных производных, представляющих собой математическую запись законов сохранения консервативных величин (массы, энергии и количества движения) и решаемых методами вычислительной математики с применением мощных компьютеров [2], которые в качестве исходных данных используют климатические сценарии. Физико-математические МОЦАО (модели общей циркуляции атмосферы и океана) приближают исследователей к пониманию физических процессов и обратных связей в климатической системе, благодаря чему позволяют оценивать её будущие состояния.

Межправительственной группой экспертов по изменению климата [3] разработан набор сценариев будущих выбросов парниковых газов в атмосферу. Этот набор представленный в Специальном Докладе о Сценариях Выбросов [2], включает четыре сюжетные линии, в рамках которых предложено шесть демонстрационных сценариев. Общее же число сценариев составляет четыре десятка. Сценарии основаны на различных гипотезах о будущем мировом развитии, которое определяется демографическими, экономическими и технологическими факторами, от которых, в свою очередь, зависит интенсивность использования ископаемого топлива и выбросы в атмосферу парниковых газов и аэрозолей, которые приводят к изменению радиационного внешнего воздействия на климатическую систему. Сценарии были получены без дополнительных инициатив, связанных с изменением климата, и без указания степени вероятности наступления тех или иных событий.

В настоящее время с помощью большинства ведущих МОЦАО были проведены расчёты эволюции климатической системы в XXI веке под воздействием двух сценариев СДСВ: «умеренного» сценария В 2 и «жёсткого» сценария А2, согласно которому в конце XXI века ожидается сильное глобальное потепление. Другие сценарии СДСВ в расчётах с МОЦАО в то время использовались редко [3]. Поскольку сценарии эмиссий основываются на тех или иных предположениях о будущем развитии человечества, климатические сценарии, равно как и сценарии изменения климата, не следует рассматривать как прогноз, но лишь как внутренне не противоречивые картины возможных в будущем состояний климатической системы.

В настоящей работе нами были использованы результаты расчёта МОЦАО по «умеренному» сценарию. Такой выбор сделан на основании того, что именно данный сценарий был проинтегрирован большинством моделей (это позволяет осреднить полученные по ним результаты для увеличения точности расчёта), а так же из-за его доступности через Интернет [www.ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk].

Особенности распределения озёр с разной проточностью. Большое значение в формировании индивидуальности озера играет его принадлежность к одному из существующих воднобалансовых типов, среди которых: сточные, периодически сточные и бессточные водоёмы. Распределение их по территории зависит от особенностей климата и строения озёрных систем (имеется в виду озеро и его водосбор). Отнесение озера к тому или иному типу связано с оценкой структуры водного баланса.

Воднобалансовый тип озера можно определить решая уравнение его равновесного водного баланса представленного в единицах объёма:

$$W_{np} + W_{oc} - W_{CT} - W_{HCn} = 0 \quad (1)$$

где W_{np} - приток в озеро поверхностных вод с водосбора, W_{oc} - осадки на поверхность озера, WCT - сток воды из озера, W_{Hcn} - испарение с поверхности озера.

Переведя составляющие уравнения (1) в миллиметры слоя получим:

$$R_{6K} + P - RCT - E = 0, \quad (2)$$

где P_{v6} - приток в озеро поверхностных и подземных вод с водосбора, P - осадки на поверхность озера, RCT - сток воды из озера, E - испарение с поверхности озера, K - удельный водосбор, равный отношению площади бассейна (F_a) к площади озера (F_0).

Решая уравнение (2) относительно K и принимая $RCT=0$ (условие при котором озеро становится бессточным) получим выражение для некоего критического значения удельного водосбора:

$$F-P$$

$$K_{kp} = \frac{F-P}{F_0} \quad (3)$$

Здесь, K_{kp} - критическое значение удельного водосбора, которое численно равно значению удельного водосбора K , но может принимать, исходя из формулы, отрицательные значения, что соответствует зоне избыточного увлажнения. Физически это означает, что озеро будет проточным даже при отсутствии водосбора т.к. осадки превышают испарение с поверхности озера.

Если K некоего исследуемого озера больше K_{kp} , то озеро сточное, иначе - бессточное. Колебания климата вызывают изменения E , P , K_q и соответственно K , что может приводить к существованию типа периодически сточных озёр.

Географическое распределение воднобалансовых типов озёр можно представить в виде карты изолиний K_{kp} . Подобные карты строили Б.Б.Богословский [4], М.Ф.Веселова [5]. Б.Б.Богословский представил схемы размещения сточных и бессточных озёр при разных значениях $1/K_{kp}$ для части рассматриваемой территории. М.Ф.Веселова построила карту изолиний K_{kp} при которых озёра становятся бессточными. В обоих случаях использовались средние многолетние значения составляющих водного баланса без учёта морфометрических особенностей озера. Построение карты изолиний K_{kp} возможно при условии зональности членов правой части уравнения (3) и независимости их от особенностей строения озёрных систем. По этой причине мы предполагаем, что значение испарения с поверхности водоёма равно испаряемости; плювиометрическая депрессия отсутствует; площадь водосбора соответствует зональным значениям, а следовательно и речной сток то же. Карта построена для неравновесного водного баланса, т.к. использование равновесного баланса приведёт к тому, что K_{kp} по модулю в любом случае будет равняться единице, а знак определится лишь увлажнённостью территории.

Для построения карт K_{kp} в работе использовались данные по климатическим составляющим водного баланса - осадкам, испаряемости и речному стоку, снятыми через 2,5 градуса по широте и долготе [6]. Эти же данные были использованы нами при построении карты K_{kp} при современном климате (рисунок 1). Для получения данных на отдалённую перспективу (в данной работе используются данные на 2080-2100 гг.) используются приращения между модельными ожидаемыми и модельными современными данными по осадкам и испаряемости, которые в свою очередь суммируются с одноименными составляющими водного баланса при современном

климате. Ожидаемые величины речного стока определяются как произведение ожидаемых осадков на коэффициент стока, который также определяется по [6].

Построение карт для исследуемой территории производится путём нанесения значений Ккр в узлы координатной сетки через 2,5 градуса по широте и долготе, экстраполяции между точками и проведения изолиний. Полученная карта представлена на рисунке 1. Для наглядности, на карту также нанесены изолинии значений Ккр при современном климате (сплошная линия).

Анализ карты

Анализ карты показывает, что при потеплении такого небольшого масштаба всё же можно отметить заметные изменения в размещении на территории сточных, бессточных и периодически сточных озёр. Нулевая изолиния, представляющая собой границу раздела между озёрами постоянно имеющими сток и сточными лишь при определённом значении Ккр переместиться к северу по сравнению с существующей, тем самым увеличится площадь, на которой встречаются бессточные водоёмы. При этом можно ожидать расширения границ зоны сосредоточения озёр, в которых усиливается процесс минерализации воды. Ожидается расширение зоны существования бессточных озёр в Якутии.

Поскольку при расчете по картам изолиний не удаётся учесть элементы водного баланса с точностью более 10 - 15 %, построенные карты носят схематический характер и, главным образом, дают представление о изменении Ккр по изучаемой территории в зависимости от степени увлажнённости территории и морфометрии изучаемых водоёмов. Они позволяют оценить распределение по территории озёр с разными транзитно - аккумуляционными возможностями. Увеличение разницы Р и Е, указывает на возрастание интенсивности внешнего водообмена. Так все сточные озёра в зависимости от интенсивности внешнего водообмена относятся к категории транзитных и транзитно - аккумуляционных, периодически сточные принадлежат к аккумуляционно - транзитным, а бессточные к аккумуляционным. Наряду с изменениями распределения по территории типов проточности озёр можно ожидать изменения уровня режима, минерализации воды, транзитно-аккумуляционных возможностей и соответственно биоценозов отдельных объектов.

Для оценки влияния предполагаемого потепления на водный режим современных озёр использована методика, представленная в [7]. Используя данные по климатическим сценариям совместно с морфометрическими характеристиками некоторых озёр, были рассчитаны приходная и расходная составляющие водного баланса. Анализ произведён с использованием классификаций Б.Б. Богословского и Н.М. Алюшинской в связи с тем, что они дают возможность более детально характеризуют соотношения приходные и расходные составляющие водного баланса. Для анализа выбраны озёра, расположенные в разных физико-географических зонах исследуемой территории.

Таблица 1. Оценка структуры водного баланса

Водоём	Широта	Долгота	Тип по Богословскому		Тип по Алёшинской	
			Современ.	Ожидаемый	Современ.	Ожидаемый
Кулундинское	52,30	79,30	ИПз	ип2	ИПз	ип2
Ильмень	58,30	31,15	СП!	СП!	СП!	СП!
Убинское	55,30	80,00	ИД1	ид4	ИД1	ид4
Ханка	45,00	132,45	сп4	сп4	сп4	сп4

Здесь, помимо отнесения озера к определённому типу (стоково-приточные (СП) $R_{np} > P$; стоково-дождевые (СД) $R_{np} < P$; испарительно-приточные (ИП) $R_{np} > P$; испарительно-дождевые (ИД) $R_{np} < P$, более детально произведено подразделение соотношения составляющих баланса внутри типов [7].

Из таблицы видно, что для озёр зоны избыточного увлажнения территории, так же как и озёр, расположенных в муссонном климате, соотношение приходно-расходных составляющих водного баланса не приведёт к изменению типов в соответствии с классификациями, а озёра зон достаточного и недостаточного увлажнения могут существенно поменять свой водный режим, вплоть до исчезновения.

Закключение В данной работе нами исследовались внутренние водоёмы - озёра. Подводя итоги следует отметить, что полученные результаты касаются одной из проблем сложного процесса развития озёр под влиянием природных и антропогенных факторов и взаимодействующих компонентов окружающего ландшафта и процессов, происходящих на водосборе и в самом озере. Рассматривалось влияние климатических условий (современных и гипотетических) и факторов подстилающей поверхности на функционирование водоёмов с разной структурой водного баланса.

Литература:

1. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. Москва, «Мысль», 1988. 524 с.
2. Катцов В. М., Мелешко В.П. Современные модели совместной циркуляции атмосферы и океана. Труды конференции молодых учёных, посвященной 80-летию отдела динамической метеорологии ГГО. ГГО, 2001, С.21-42.
3. В.М. Катцов, СВ. Вавулин, В.А. Говоркова, Т.В. Павлова. Сценарии изменения климата Арктики в XXI веке. /Метеорология и гидрология. 2003. №10. С.5-17.
4. Богословский Б.Б. О районировании озёр СССР по водному балансу. Труды III всесоюзного гидрологического съезда, т. IV.- Л.: Гидрометеиздат, 1959.-375 с.
5. Веселова М.Ф. О влиянии удельного водосбора на водный баланс озёр, вестник ЛГУ, 1969, №18.
6. Атлас мирового водного баланса.- Л.: Гидрометеиздат, 1974.
7. Эдельштейн К. К. Водные массы долинных водохранилищ. Изд. МГУ, 1991, 175 с.