

0.7  
- 3 МАЯ 1998

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА РОССИИ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И  
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи  
УДК: 556.555.2 (262.8)

БАБКИН АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

УВЛАЖНЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНОВ АРАЛЬСКОГО МОРЯ И БАЛХАША)

Специальность 11.00.09 – метеорология,  
климатология и агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук.

Санкт-Петербург – 1996

Работа выполнена в Государственном гидрологическом институте.

Научный руководитель: доктор географических наук И.И. Борзенкова

Официальные оппоненты: доктор географических наук  
профессор К.В. Кондратович

кандидат географических наук  
Т.П. Гронская

Ведущая организация: Институт озераедения РАН


Защита состоится 27 июня 1996 г. в 15<sup>30</sup>

на заседании специализированного совета К.063.19.01 при Российском государственном гидрометеорологическом институте (РГГМИ) по адресу: 195196 г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр. 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГМИ.

Автореферат разослан 24 мая 1996 г.

Заверенные печатью учреждения отзывы в двух экземплярах просим направлять в адрес РГГМИ.

Ученый секретарь специализированного совета   
кандидат физико-математических наук: доцент В.Д. Еникеева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ.** На протяжении всей истории развития нашей планеты ее климат изменялся в зависимости от влияния многочисленных факторов.

За исключением последних десятилетий колебания климата вызывались естественными процессами и причинами и не зависели от хозяйственной деятельности человека. Однако, постоянный рост населения на Земном шаре, развитие промышленности, сельскохозяйственного производства и энергетики способствовали постепенному накоплению углекислого газа и аэрозоля в атмосфере Земли, что привело к повышению глобальной температуры воздуха, впервые зафиксированному М.И. Будико в начале 60-х годов настоящего столетия. Рост глобальной температуры накладывается на естественные изменения климата и отражается на увлажнении Земного шара: в одних регионах оно возрастает, в других - убывает.

Среди многих регионов Земного шара, в которых изменения климата могут быть значительными в будущем, особую обеспокоенность вызывают обширные площади областей внутреннего стока, то есть аридные территории, с которых не осуществляется сток речных вод в Мировой океан. К таким территориям в Северном полушарии относятся большие по площади регионы Средней Азии и Казахстана, включающие в себя бассейны крупнейших озер мира - Арала и Балхаша.

В настоящее время эти водоемы, вследствие развития в большом объеме орошения в их бассейнах, существенно деградируют, а Арал с прилегающей к нему территорией превратился в зону экологического бедствия: уровень его за последние 30 лет упал более чем на 14 метров. Поэтому изучение увлажнения аридных регионов Казахстана и Средней Азии является весьма актуальной задачей, решение которой, помимо научного, имеет огромное значение для эффективного использования и охраны водных ресурсов пяти государств, расположенных в пределах бассейнов Арала и Балхаша, как в современный период, так и в ближайшем будущем.

Увлажнение территории можно характеризовать различными показателями и индексами. Наиболее доступными, продолжительными и достоверными для рассматриваемой территории являются данные об уровнях воды Арала и Балхаша, которые приняты в качестве интегральных показателей увлажнения их бассейнов.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** Целью настоящей работы является разработка методических основ исследований взаимосвязей между гидролого-климатическими

и морфометрическими характеристиками бессточных водоемов в настоящее время, в геологическом прошлом и предстоящем будущем для изучения увлажнения аридных регионов Земного шара.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ** заключается в том, что в ней:

1) разработан метод изучения взаимосвязей между гидролого-климатическими (испарение с поверхности акватории и приток вод в водоем) и морфометрическими (уровень водоема, площадь его акватории и объем) характеристиками бессточных озер в процессе их перехода из одного равновесного состояния в другое;

2) развит теплобалансовый подход к оценке и исследованию колебаний параметров бессточных озер в геологическом прошлом с учетом площадей ландшафтных угодий их бассейнов;

3) предложена дифференциальная форма записи уравнения водного баланса бессточного озера, позволившая вскрыть общие черты колебаний характеристик объектов различной физической природы и оценить реакцию параметров бессточного водоема на изменения притока в него вод.

**ПРЕДМЕТ ЗАЩИТЫ.** Разработанные методы исследования состояния увлажнения территорий и колебаний параметров бессточных водоемов в геологическом прошлом, настоящем и будущем, апробированные на примере двух крупнейших озер Земного шара: Аральского моря и Балхаша, являются предметом защиты.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ.** Практическая ценность исследований заключается в том, что разработанные методы и полученные результаты могут быть использованы при подготовке документов для принятия решения об эффективном использовании и охране водных ресурсов в современный период и в ближайшем будущем в бассейнах Арала и Балхаша, о стабилизации их уровней на заданных отметках, а также для оценки времени появления этих отметок.

Разработанные методы могут быть использованы при проведении аналогичных исследований для других бессточных водоемов Земного шара.

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ, ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.** Для исследования увлажнения аридных регионов Средней Азии и Казахстана в геологическом прошлом и в настоящее время был разработан метод, основанный на решении уравнений водного и теплового балансов. Для изучения колебаний уровней и площадей бессточных водоемов дано решение уравнения водного баланса бессточного озера в дифференциальной форме. Взаимосвязь гидролого-климатических и морфометрических характеристик "замкнутого" озера при его переходе из одного равновесного состояния к другому представлена системами уравнений, вид которых зависит от состояния водоема (низкое равновесное состояние, высо-

кое равновесное состояние) и типа процесса перехода. Разработанные методы проверялись на основе данных, опубликованных в системе Госкомгидромета, а также приведенных в отдельных крупных монографиях (Б.Д.Зайков "Очерки по озераведению", Л.:Гидрометеиздат, 1960г., М.И.Будико "Климат и жизнь", Л.:Гидрометеиздат, 1971; "Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или-Балхашской проблемы", Л.: Гидрометеиздат, 1989г.) и в ряде статей [авторы А.С.Кесь и И.А. Кляжанова(1990г.), Р.В.Николаева(1969г.), К.В.Курдюков(1952г.) и др.].

**АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Основные положения работы обсуждались на заседании отдела "Исследования изменений климата и их последствий" ГГИ в 1993г., 1994г., 1995г., на международном симпозиуме "Расчеты речного стока", (Санкт-Петербург 1995г.), на семинаре кафедры "Динамика атмосферы и космическое землеведение" РГГМИ в 1996г.

**ПУБЛИКАЦИИ.** Основные результаты исследования содержатся в пяти работах, из которых четыре опубликованы, а одна находится в печати.

**ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ.** Диссертация изложена на 120 страницах, включающих 2 таблицы, 14 рисунков. Она состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержащего 32 источника.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы, изложены цели и задачи исследований, приводятся сведения о новизне и предмете защиты. Показано, что исследования увлажнения аридных регионов Средней Азии и Казахстана в геологическом прошлом, настоящем и ближайшем будущем имеют большое научное и практическое значение как для пяти государств, расположенных в бассейне Аральского моря и озера Балхаш, так и для засушливых регионов остальных континентов Земного шара.

В первой главе рассмотрено распространение аридных регионов (областей внутреннего стока) на континентах Земного шара. Показано, что эти области занимают 20% площади суши и распространены практически на всех обжитых континентах.

Появление областей внутреннего стока связано с особенностями атмосферной циркуляции и орографического строения территории. Как правило, эти области недоступны проникновению влажных воздушных масс, перехватываемых горными цепями и хребтами. Они обладают плоским характером рельефа. Здесь отмечаются довольно высокие значения

радиационного баланса.

Среди областей внутреннего стока наиболее привлекательными для изучения являются территории, замкнутые крупными бессточными водоемами (озерами), получающими основное питание от притока в них речных вод, формирующихся в горах (А.Е. Асарин, 1975г.; И.А. Шикломанов, 1979г.; А.А. Соколов и К.В. Циценко, 1989г. и др.).

На азиатском континенте к таким территориям относятся бассейны Арала и Балхаша, которые к настоящему времени хорошо изучены в гидрологическом отношении (экспедиции: полковника Берга 1825-1826 г.г.; капитан-лейтенанта Бутакова, 1848-1849г.г.; Амударьинская экспедиция Ф.Б. Дорандта, 1874-1876г.г.; исследования Л.С. Берга (1904г., 1908г.), В.В. Цинзерлинга (1927г.), Б.Д. Зайкова (1946г., 1952г., 1960г.); экспедиции Среднеазиатского государственного университета (1926-1927г.г.), ГГИ (1930-1932г.г., 1958-1959г.г., 1981-1985г.г.), АН Казахской ССР (1941-1944г.г.), Гидропроекта (1954-1955г.г.) в бассейне Балхаша, Гидропроекта и ГГИ в бассейне Арала (1960-1970г.г.).

В 70-х - 80-х годах текущего столетия гидролого-водохозяйственные исследования на рассматриваемой территории осуществляли также ученые ГОИНа, институтов АН СССР (Институт водных проблем, Институт географии и Институт озероведения) и Минводхоза СССР (ЦНИКИВР и др.).

По материалам проведенных исследований и данным Госкомгидромета опубликовано несколько сотен работ, в которых представлена гидрологическая изученность рассматриваемых бассейнов, дана оценка их водных ресурсов, элементов водного баланса озер и их колебаний за период наблюдений. Некоторые из этих исследований обобщены А.Е. Асариным (1975г.), И.А. Шикломановым (1979г.; 1987 г.), А.А. Соколовым и К.В. Циценко (1989г.).

В подавляющем числе работ, однако, не уделялось должного внимания геологическому и историческому прошлому Арала и Балхаша и не доучитывались климатические изменения в их бассейнах (А.А. Соколов, 1990г., О.А. Дроздов, 1993; 1994г.г.), что позволило бы более объективно рассмотреть их увлажнение в настоящее время и оценить возможные его колебания в будущем.

Лишь в работах В.И. Лимарева (1963г.), Д.Д. Квасова (1976г.) А.С. Кесь (1969г., 1978г., 1990г.), А.Л. Яншина (1953 г.), Л.Р. Серебрянного, Г.Н. Пшенина, К. Пуннинга (1980г.) рассматривается позднечетвертичная история Арала, а в исследованиях К.В. Курдюкова (1952г.), Ю.П. Хрусталева и С.Я. Черноусова (1983г.) подробно описаны основные этапы развития Балхаша.

Анализ работ, относящихся к Аральскому морю, указывает на противоречивость отдельных выводов упомянутых выше авторов, что затрудняет в настоящее время исследования по реконструкции изменений климата в его бассейне в геологическом прошлом.

Для озер Балхаш-Ала-Кульской котловины, где нет крупных мигрирующих рек, а трансгрессивные и регрессивные этапы развития водоемов определены более достоверно и четко, с использованием теплобалансового подхода удалось установить увлажненность бассейнов в периоды двух крупных трансгрессий, относящихся к Вюрмскому времени и оптимуму голоцена. Результаты выполненных исследований приводятся в четвертой главе. Они, по существу, подтверждают синхронность в увлажнениях Балхаша и Арала для периодов, выделенных Кесь и Курдюковым.

Во второй главе излагается метод исследования взаимосвязей гидролого-климатических и морфометрических характеристик бессточных водоемов в периоды их перехода от одного уровня равновесия к другому.

Следуя Б.Д. Зайкову, под уровнем равновесия бессточного озера будем понимать такую его отметку, при которой приходная часть водного баланса полностью расходуется на испарение с его акватории. Охарактеризуем бессточный водоем суммарным притоком воды в него  $P$  (сток речных вод в водоем с атмосферными осадками, выпавшими на его акваторию, и приток подземных вод в него, не дренируемых реками, если он имеется), испарением с его поверхности  $E$ , площадью акватории  $S$  и уровнем воды  $H$ .

Введем понятие скорости изменения уровня замкнутого озера, под которой будем понимать разность между суммарным притоком воды и испарением с его поверхности за исследуемый интервал времени.

Зададим два произвольных равновесных состояния бессточного водоема:

$$1) \text{ низкое } P=P_1; E=E_1; S=S_1; P_1=E_1; v=0, \quad (1)$$

$$2) \text{ высокое } P=P_2; E=E_2; S=S_2; P_2=E_2; v=0 \quad (2)$$

Очевидно, что

$$P_2=P_1+\Delta P; E_2=E_1+\Delta E; S_2=S_1+\Delta S; H_2=H_1+\Delta H; \Delta P=\Delta E. \quad (3)$$

Величины  $\Delta P$  и  $\Delta E$ , равные разности суммарных притоков воды в бессточный водоем двух равновесных состояний, назовем дополнительным систематическим притоком воды.

Если рассматриваемый водоем, находящийся в состоянии (1), получает дополнительный систематический приток, то он переходит в состояние (2). Процесс перехода (1)  $\rightarrow$  (2) представляет собой изме-

нение величин  $E$  и  $S$  от значений  $E_1$  и  $S_1$  до  $E_2$  и  $S_2$  при фиксированном  $P$  высокого равновесного состояния. Разности конечных и текущих значений величин  $E$  и  $S$  представим в виде:

$$E_2 - E = \alpha \Delta E; \quad (4)$$

$$S_2 - S = \beta \Delta S, \quad (5)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - параметры, характеризующие переход водоема из одного равновесного состояния в другое во времени.

Используя определение скорости изменения уровня и выражения (4) - (5), получим

$$v \uparrow = \frac{P - E}{S} = \frac{\alpha \Delta E}{S_2 - \beta \Delta S} \quad (6)$$

Для процесса перехода (2)  $\rightarrow$  (1) будем иметь

$$v \downarrow = - \frac{\alpha \Delta E}{S_1 + \beta \Delta S}, \quad (7)$$

где знак (-) показывает направление изменения уровня водоема в сторону уменьшения его отметки.

Для представления процесса перехода водоема из одного равновесного состояния в другое во времени используем преобразование:

$$t = \int_{H_0}^H \frac{dH}{v}, \quad (8)$$

где  $t$  - время достижения уровнем значения  $H$ , отсчитанное с момента принятия уровнем значения  $H_0$ .

Рассмотрим переход водоема из состояния (1) в состояние (2). Представим разность конечного и текущего значения уровня водоема в виде

$$H_2 - H = \gamma \Delta H, \quad (9)$$

$$dH = -\Delta H d\gamma, \quad (10)$$

где  $\gamma$  - параметр перехода, характеризующий изменение уровня водоема.

Подставив (6) и (10) в (8), получим

$$t \uparrow = - \frac{\Delta H}{\Delta E} \int_1^2 \frac{S_2 - \beta \Delta S}{\alpha} d\gamma. \quad (11)$$

Проделав аналогичное вычисление для перехода (2)  $\rightarrow$  (1), получим

$$t \downarrow = - \frac{\Delta H}{\Delta E} \int_2^1 \frac{S_1 + \beta \Delta S}{\alpha} d\gamma. \quad (12)$$

Интегралы (11) и (12) вычислены для трех возможных вариантов перехода (2) → (1) и аналогичных вариантов для перехода (1) → (2).

После несложных преобразований получено, что для перехода (2) → (1)

$$\alpha = \beta^{a'} \quad (13)$$

а для перехода (1) → (2)

$$\alpha = \beta^a, \quad (14)$$

где  $a'$  и  $a$  - климатические показатели.

Связь  $\gamma'$  и  $\beta$  целиком зависит от формы котловины водоема. Установлено, что для перехода (2) → (1)

$$\gamma' = \beta^{k'}, \quad (15)$$

а для перехода (1) → (2)

$$\gamma' = \beta^k, \quad (16)$$

где  $k'$  и  $k$  - морфометрические показатели.

Подставив (14) и (16) в (11), получим

$$t\uparrow = -\frac{\Delta H}{\Delta E} \int \frac{(S_2 - \beta \Delta S) K \beta^{k'-1}}{\beta^a} d\beta. \quad (17)$$

В результате интегрирования этого выражения имеем

$$t\uparrow = -K \frac{\Delta H}{\Delta E} \left( \frac{S_2}{k-a} (\beta^{k-a} - 1) - \frac{\Delta S}{k-a+1} (\beta^{k-a+1} - 1) \right). \quad (18)$$

Для случаев  $K = a$  и  $K + 1 = a$  интегрирование выражения (17) привело к новым формулам.

Аналогичные выражения получены для перехода (2) → (1).

Эти формулы следует использовать для описания изменения площади водоема с учетом его климатических и морфометрических особенностей, при переходе от одного равновесного состояния к другому. С их помощью можно рассчитать время падения и время восстановления уровня воды до заданных отметок.

В результате несложных преобразований получены формулы для оценки изменений объема воды в водоеме в процессе его перехода из одного равновесного состояния в другое. Например, для перехода (1) → (2) формула имеет вид

$$\delta V\uparrow = K \Delta H \left( \frac{S_2}{K} (\beta^k - 1) - \frac{\Delta S}{K+1} (\beta^{k+1} - 1) \right). \quad (19)$$

Предлагаемый метод изучения взаимосвязей гидролого-климатических и морфометрических характеристик бессточных водоемов, естественно, применим ко всем замкнутым озерам Земного шара.

Применение этого метода для оценки времени восстановления мор-

фометрических характеристик Аральского моря на основе использования данных Б.Д. Зайкова (1960г.), а также А.С. Кесь и И.А. Ключановой (1990г.) показало, что даже при величине притока воды в этот водоем, равной объему 50-х годов настоящего столетия, дефицит его площади через 10 лет в лучшем случае сократится на 50%, а дефицит объема - лишь на 40%.

При делении разности уровней двух равновесных состояний на среднюю скорость изменения уровня получим время, которое назовем характерным временем перехода. При  $\alpha = \beta = \delta$  формула по оценке средней скорости изменения уровня примет вид:

$$\tau t = \frac{\Delta E}{\Delta S} \left( \frac{S_2}{\Delta S} \ln \frac{S_2}{S_1} - 1 \right). \quad (20)$$

Аналогичное выражение получено для перехода (2)  $\rightarrow$  (1).

Установлено, что для данных равновесных состояний Аральского моря характерное время перехода (2)  $\rightarrow$  (1) составляет 50 лет, а для перехода (1)  $\rightarrow$  (2) - 35 лет.

В третьей главе рассматривается комплекс вопросов, связанных с разработкой метода оценки реакции бессточного водоема на колебания притока в него вод.

Уравнение водного баланса бессточного водоема в дифференциальной форме имеет следующий вид:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{P}{\text{tg } \varphi} + 0,5 \frac{\Delta P}{\text{tg } \varphi} \cdot \sin \omega t - \frac{\bar{E}}{\text{tg } \varphi}, \quad (21)$$

где

$$y = S_1 + \beta \Delta S, \quad (22)$$

$$P = P_1 + 0,5 (1 + \sin \omega t) \Delta P = P_1 + 0,5 \cdot \sin \omega t \Delta P, \quad (23)$$

$$\bar{E} = \frac{1}{3} E, \quad (24)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\Delta H}{\Delta S}, \quad (25)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (26)$$

В выражениях (21) - (26) приняты обозначения:

- Ч** - площадь акватории водоема;
- В** - среднее, по отношению к экстремумам  $P_1$  и  $P_2$ , значение притока вод;
- АР** - амплитуда колебаний притока вод;
- Е** - норма испарения;
- У** - угол наклона морфометрической функции;
- С** - частота колебаний;
- Т** - период колебаний.

Уравнение (21) внешне напоминает уравнение механического движения, что позволило провести некоторую аналогию между элементами, в них входящими.

В частности, показано, что тангенс угла наклона морфометрической функции водоема аналогичен массе тела. Поскольку в механике масса рассматривается как мера инертности тела, по аналогии можно утверждать, что мерой инертности водоема является угол наклона его морфометрической функции: чем больше этот угол, тем более водоем инертен.

Установленная аналогия позволила уточнить понятие "инерционности параметра" водоема, впервые введенного в гидрологию Д.Я. Ратковичем (1993г.)

Путем разложения в ряд Тейлора уравнения, описывающего механическое движение, и сравнения решений при параметрах трения, равных 1 и 1/2, исследованы общее и особенное в механических и лимнологических колебаниях. Это исследование проведено на примере Арала. Необходимые данные по Аралу взяты из работ Б.Д. Зайкова (1960г.), Р.В. Николаевой (1969г.), В.П. Львова (1959г.).

В результате исследований получено, что площадь, уровень и испарение с поверхности озера достигают своих максимальных и минимальных значений спустя некоторое время после наступления соответствующих экстремальных значений притока вод. Время запаздывания параметров отклика на периодическое воздействие для любого бессточного озера, как и для механической системы, лежит в пределах от 0 до  $T/2$ . Время запаздывания параметров Аральского моря для 35 летнего периода колебаний составляет 7-8 лет.

Для описания реакции бессточного водоема на колебания притока вод предложены параметры амплитудной  $A$  и фазовой  $\Phi$  реакции. Параметр амплитудной реакции показывает, какую часть амплитуда колебаний характеристик водоема (площади, уровня и испарения с его поверхности) составляет соответственно от разности этих характеристик двух равновесных состояний, определенных экстремальными значениями притока.

Параметр фазовой реакции устанавливает долю времени запаздывания экстремумов колебаний этих характеристик от рассматриваемого периода колебаний. В настоящей работе показано, что с увеличением притока вод и периода его колебаний время запаздывания экстремумов уровня, площади акватории и испарения увеличивается.

Функцию изменения притока вод можно задавать более произвольным образом, например, в виде экспоненты или циклических колебаний. Уравнение водного баланса бессточного водоема в дифференциальной форме с произвольно меняющимся притоком является нелинейным и неоднородным. Оно может быть отнесено к типу уравнений Абея. Это уравнение решено методом разложения его в ряд Тейлора, что позволило использовать единое решение при изучении отклика параметров бессточного водоема на различные по длительности колебания притока вод.

В четвертой главе приводятся результаты исследований условий увлажнения (существования озер) Балхаш-Ала-Кульского бассейна в современную эпоху и в геологическом прошлом (в позднем плейстоцене и голоцене).

Геологические и геоморфологические данные свидетельствуют о значительной изменчивости параметров озер Балхаш-Ала-Кульского бассейна (Балхаша, Ала-Куля, Сасык-Куля и Уялы) в прошлом.

Анализируя геологическое строение Ала-Кульской котловины К.В. Курдюков (1952г.) выделил следы двух древних береговых линий выше современного уровня. Эти следы имеют отметки соответственно 400 и 350 м, что позволило ему сделать вывод о существовании по меньшей мере двух крупных трансгрессий озер Балхаш-Ала-Кульской котловины в прошлом.

Во время максимальной трансгрессии на месте четырех современных озер располагался обширный Балхаш-Ала-Кульский водоем, с площадью водной поверхности более 100 тыс. км<sup>2</sup>, что превышает почти в 5 раз сумму площадей современных озер. Во время менее значительной трансгрессии существовало два изолированных озера: Балхаш, площадь которого составляла 35,4 тыс. км<sup>2</sup> и Сасык-Ала-Куль, имевший площадь 6,25 тыс. км<sup>2</sup>.

Курдюков предполагал, что трансгрессивные стадии однозначно связаны с развитием горного оледенения. Максимальная трансгрессия была отнесена ко времени Валдайского (Вярмского) оледенения, а вторая трансгрессия - ко второй половине голоцена. Эти две трансгрессии разделялись значительной регрессией, которая с оговорками им причислялась ко времени климатического оптимума голоцена.

Проводившиеся позднее исследования толщи осадочных пород Бал-

хашской котловины с применением радиоуглеродного датирования (Хрусталева Ю.П., Черноусов С.Я., 1983г.) позволили выделить три трансгрессивные и три регрессивные стадии развития Балхаша. При этом были подтверждены уровни озер в периоды двух крупных трансгрессий, определенные В.В.Курдюковым. Однако вторая, меньшая по масштабам, датируется непосредственно временем климатического оптимума голоцена, а не стадией позднеголоценового похолодания. Регрессия, разделяющая две крупные трансгрессии, предшествовала климатическому оптимуму. Выводы Хрусталева и Черноусова опровергают гипотезу об однозначной связи между трансгрессиями водоемов данного района и развитием горного оледенения.

Сведения об уровнях озер Балхаш-Ала-Кульской котловины в историческое время немногочисленны. Известно лишь, что во время климатического потепления Средних веков (В.А. Обручев, 1932г.; Т.А. Абрамова, А.Н. Варуценко, 1989г.) уровни этих озер были значительно выше современных. Р.Д. Курдин (1975г.) полагает, что средневековой трансгрессии озер предшествовала регрессия, когда уровень озера Ала-Куль опустился до отметки 332 м.

Для реконструкции гидролого-климатических условий существования древних озерных бассейнов используют метод водного баланса (К.В. Курдюков, 1952г.) либо метод совместного решения уравнений теплового и водного баланса (J.Kutzbach, 1980г.). Оба метода реализуются с учетом определенных предположений о соотношениях осадков и испарения, однако, в последнем предположении меньше, он и принят в данном исследовании.

Геоморфологические данные свидетельствуют, что в горной части Балхаш-Ала-Кульского бассейна в прошлом и в настоящее время имеются ледники, а весь бассейн довольно неоднороден по физико-географическим условиям.

Поделим условно весь рассматриваемый бассейн на три ландшафтных участка: 1) озеро; 2) безледная суша; 3) лед (ледник).

Уравнение теплового баланса для бассейна имеет следующий вид:

$$LP^* = \frac{\alpha_0 R_0}{1+B_0} + \frac{\alpha_6 R_6}{1+B_6} + \frac{\alpha_A R_A}{1+B_A}, \quad (27)$$

где  $P^*$  - среднее по площади бассейна количество осадков за год;

$L$  - удельная теплота парообразования;

$R_0, R_6, R_A, B_0, B_6, B_A$  - соответственно годовые значения радиационного баланса и отношения Боуэна для озера, суши и ледника.

$\alpha_0, \alpha_6, \alpha_A$  - доли площади озера, безледной суши и ледника от всей площади бассейна.

Для Балхаш-Ала-Кульского палеозера параметр  $\alpha_0$  равен отношению суммарной площади акватории Балхаша, Ала-Куля, Сасык-Куля и Уялы к площади их общего бассейна.

При проведении расчетов по формуле (27) учтена связь между площадью, занимаемой ледником, климатическими характеристиками озера и безледной суши бассейна. Для ориентировочной оценки эта связь представлена в виде

$$R_0 = R'_0 - \alpha_\lambda (R'_0 - R_\lambda), \quad (28)$$

$$R_0 = R'_0 - \alpha_\lambda (R'_0 - R_\lambda), \quad (29)$$

$$B_0 = B'_0 - \alpha_\lambda (B'_0 - B_\lambda), \quad (30)$$

где  $R'_0, R'_\lambda$  - радиационный баланс озера и суши при  $\alpha_\lambda = 0$ ;

$B'_0$  - отношение Боуэна суши при безледных условиях.

Отношение Боуэна для озера принято постоянным.

При современных размерах оледенения отношение Боуэна безледной суши может быть представлено в виде

$$B_0 = \frac{R_0 - LE_0}{LE_0}, \quad (31)$$

где  $E_0$  - испарение с поверхности суши, оцениваемое по формуле типа Э.М. Ольдекопа.

В результате исследований получена номограмма, показывающая зависимость площади озер Балхаш-Ала-Кульского бассейна от площади ледника и от количества атмосферных осадков. Установлено, что для трансгрессии, наблюдавшейся во время климатического оптимума голоцена, в Балхаш-Ала-Кульском бассейне осадков выпадало на 110 мм. в год больше, чем в настоящее время.

Максимальная трансгрессия существовала во время Вюрмского (Взл-дайского) оледенения. Предполагая, что годовые суммы осадков во время этого оледенения превышали современные значения на 50 мм. (И.И. Борзенкова, 1991г.) получено, что оледенение должно было бы охватить всю горную часть рассматриваемого бассейна.

Результаты выполненных исследований подтвердили вывод К.В. Курдюкова о том, что огромный Балхаш-Ала-Кульский водоем мог существовать в климатических условиях, когда пустынно-полупустынный ландшафт его бассейна сменился на сухую степь.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В работе приведены результаты исследований колебаний увлажнения обширнейшей области внутреннего стока Северного полушария - территории Средней Азии и Казахстана. Оценка изменений увлажнения

произведена с использованием данных об уровнях воды и площадях акваторий двух крупнейших водоемов мира: Арала и Балхаша.

По геологическим данным установлено, что площади акваторий этих озер существенно отличались от современных. Площадь Палеобалхаша в позднем плейстоцене во время Вюрмского оледенения почти в 5 раз превышала суммарную площадь четырех современных водоемов (Балхаш, Ала-Куль, Сассик-Куль, Уяли), входивших в это гигантское палеоозеро.

В это же время существовало обширное Сарыкамышское озеро, куда Амударья сбрасывала в основном свои воды, обуславливая сток из озера по Узбою в Каспий. Стабильный сток по Узбою отмечается и в момент климатического оптимума голоцена, когда на озерах Балхаш-Ала-Кульской группы также отмечалась трансгрессия. То есть в эти периоды в рассматриваемой области внутреннего стока осадков выпадало больше, чем в настоящее время.

С помощью метода теплового баланса произведена реконструкция климатических условий Балхаш-Ала-Кульского бассейна во время двух последних крупных трансгрессий: Вюрмского оледенения позднего плейстоцена и оптимума голоцена. Показано, что оледенение являлось основным фактором, усилившим трансгрессию. На основе этих исследований установлена зависимость площади водной поверхности озер Балхаш-Ала-Кульской котловины от площади оледенения бассейна и сумм атмосферных осадков.

Эта зависимость может быть использована для анализа и реконструкции климатических условий и увлажнения Балхаш-Ала-Кульского бассейна во время всех последующих трансгрессий и регрессий, наблюдавшихся в период от второй половины плейстоцена до настоящего времени.

Рассматривая климатические условия ближайшего будущего, аналогичными климатическим условиям оптимума голоцена, можно предсказать некоторый рост уровней озер Балхаш-Ала-Кульской группы.

Метод теплового баланса, использованный в настоящих исследованиях, может быть применен также для изучения климатических условий геологического прошлого крупных замкнутых водоемов, расположенных в Европе, Азии, Африке, Южной и Северной Америке.

На протяжении более коротких интервалов времени уровни замкнутых озер могут находиться в определенных соотношениях с элементами их водного баланса. Эти уровни, названные Б.Д. Зайкович "уровнями равновесия", отражают также взаимосвязь между гидролого-климатическими и морфометрическими характеристиками озер.

В работе рассмотрены возможные варианты переходов бессточных

водоемов из одних равновесных состояний в другие, введено понятие скорости перехода, получена формула для оценки времени этого перехода.

Теоретическим путем получены уравнения, связывающие гидролого-климатические и морфометрические характеристики бессточных озер в переходных процессах. Анализ этих уравнений показал, что скорости переходов водоема из состояния с более высоким уровнем в состояние с пониженным уровнем и наоборот могут существенно различаться.

Проведена оценка роста уровня, площади акватории, объема вод и испарения с поверхности Аральского моря в случае восстановления объема притока в него вод до величин, имевших место в 50-60-е годы настоящего столетия. Установлено, что дефицит площади Аральского моря через 10 лет в лучшем случае сократится на 50%, а дефицит объема его вод уменьшится лишь на 40%.

Полученные формулы и результаты исследований могут быть использованы для принятия решения о величине орошаемых площадей в бассейне Арала и о его дальнейшей судьбе.

Для изучения колебаний характеристик замкнутых озер рассмотрено уравнение их водного баланса в дифференциальной форме. Это позволило проводить исследования реакции этих озер на колебания притока в них вод. Задавая определенный график притока вод в водоем, например, в виде циклической или периодической функции, вполне возможно оценить амплитуду колебаний и время запаздывания, по отношению к притоку, уровня водоема, площади акватории и испарения с его поверхности. Это обстоятельство способствует получению дополнительной информации об увлажнении территорий областей внутреннего стока.

Расчетные схемы и зависимости, обоснованные теоретически в настоящей работе, могут быть использованы для исследования увлажнения областей внутреннего стока на других континентах Земного шара.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Бабкин А.В. Исследование переходных состояний бессточных водоемов. - Метеорология и гидрология, 1995, №1, с.79-87.
2. Бабкин А.В. Метод расчета уровней бессточных водоемов. - Тезисы доклада на международном симпозиуме "Расчеты речного стока" - СПб.: ИЧП-РИИК, 1995, с.70.
3. Бабкин А.В. Исследование реакции бессточных водоемов на колебания притока. - Сборник работ по проекту РФФИ (93-05-9411). - СПб.: Гидрометеиздат. 1995, с.82-90.
4. Бабкин А.В. Об использовании метода аналогии для оценки колебаний гидролого-климатических и морфометрических характеристик бессточных водоемов. - Метеорология и гидрология, 1996, №5, с.104-112.

Бабкин