

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

**ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
им. В. А. БУГАЕВА**

Выпуск **87 (168)**

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ**

МОСКВА
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
1982

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
им. В. А. БУГАЕВА

Выпуск

87 (168)

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ

Под редакцией
кандидатов геогр. наук Ю. Н. ИВАНОВА
и А. М. НИКИТИНА



МОСКВА · МОСКОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТА — 1982

В сборнике помещены статьи, освещающие вопросы водного и солевого баланса озер и водохранилищ. Рассмотрены вопросы метеорологического режима водоемов. Приводятся сведения о морфометрии, морфологии, динамике и гидрофизике озер.

Сборник рассчитан на специалистов, интересующихся вопросами гидрологии, гидрохимии и метеорологии.

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ВОДНЫХ БАЛАНСОВ ВОДОХРАНИЛИЩ УЗБЕКИСТАНА

Водный баланс водохранилищ Узбекистана может быть представлен уравнением вида

$$P_o + P_b + O + W_{\text{п}} - C - Z_{\text{н}} - И - A_{\text{в}} = \pm \Delta W, \quad (1)$$

где P_o — поверхностный приток по основным водотокам; P_b — боковая поверхностная приточность, включающая приток по коллекторно-дренажной сети; O — осадки, выпадающие на площадь зеркала; $W_{\text{п}}$ — суммарная подземная приточность (отточность) через ложе водохранилища; C — сток воды из водохранилища; $Z_{\text{н}}$ — забор воды каналами и насосными станциями; $И$ — суммарные потери на испарение с водной поверхности; $A_{\text{в}}$ — изменение запасов воды в чаше водохранилища; ΔW — невязка баланса.

В уравнение водного баланса водохранилищ входят компоненты, отличающиеся различной величиной, изменчивостью и изученностью. Некоторые из них измеряются, другие вычисляются или поддаются лишь ориентировочным оценкам.

Увеличивая точность одних компонентов, мы получаем в ряде случаев возможность, используя метод водного баланса, изучить другие, менее доступные для непосредственного их измерения. Например, балансовым методом можно произвести оценку суммарного подземного притока воды к водохранилищу. Этот метод при условии незначительной суммарной погрешности определения других элементов по сравнению с суммарной подземной приточностью позволяет сделать не только ее осредненную оценку, но и проследить ее изменчивость во времени. Таким образом, прежде чем использовать метод водного баланса для изучения недостающих или трудно определяемых компонентов, целесообразно оценить точность определения его составляющих.

Анализируя комплексный график элементов водного баланса Тюябугузского водохранилища (рис. 1), можно предположить, что большая невязка в марте—мае связана с пониженной точностью учета притока или стока по основным водотокам. И действительно, в результате анализа материалов выяснилось, что невязки балансов можно уменьшить, протарировав водослив практического профиля, используемый в качестве контрольного сечения для учета

сбора воды в нижний бьеф водохранилища, а также повысив качество учета стока в створе р. Ахангаран — пост Дюкера Ташкентского канала. Сделать это можно, исключив случаи замеров расходов воды в створе моста и удлинив прямолинейную часть участка

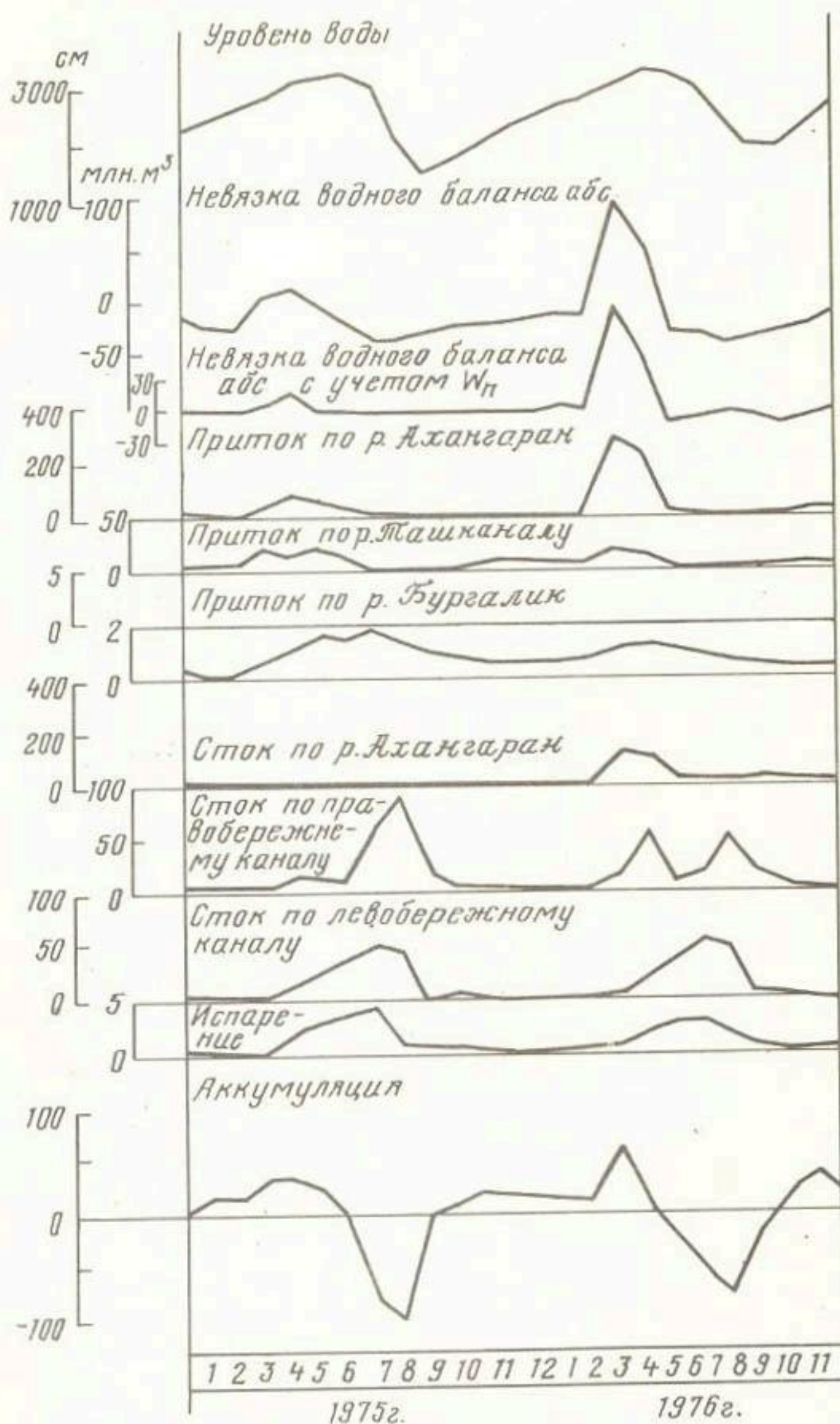


Рис. 1. Комплексный график компонентов водного баланса Тюя-бугузского водохранилища

гидроствора, где в настоящее время наблюдается значительная косоструйность, вызывающая некоторое завышение стока.

Остановимся подробнее на каждой из компонент водного баланса водохранилища и определим основные причины, влияющие на точность их определения. Во многих случаях мы имеем возможность в значительной мере увеличить точность составляемых балансов.

При построении зависимости $Q=f(H)$, как и в других методах учета стока, используются замеры расходов воды, производимые гидрометрическими вертушками. Измерения расходов воды производятся, как правило, в условиях, близких к установившемуся движению потока в русле. При этом во время наблюдений за уровнями воды, которые в дальнейшем используются для расчета стока, могут происходить значительные изменения режима потока. В таких случаях расходы воды, определяемые по связи $Q=f(H)$, будут завышены или занижены в зависимости от знака изменения уровня. Используя упрощенную схему процессов, происходящих в русле, оценим величину этих отклонений. Для этого уклон водной поверхности при прохождении волн паводков для участка водпоста, находящегося вне влияния переменного подпора, запишем в следующем виде:

$$i_n = i_{уст} + \Delta i, \quad (2)$$

где $i_{уст}$ — уклон поверхности воды при данном уровне, соответствующий установившемуся движению; Δi — изменение уклона воды за счет изменчивости водности потока.

Выражение (2) справедливо при малых значениях $i_{уст}$ и Δi , что, как правило, наблюдается в природе, особенно в предгорной и равнинной зонах.

Для установившегося режима уравнение Шези можно записать в следующем виде:

$$Q_{уст} = \omega C_{ш} V \sqrt{R i_{уст}}, \quad (3)$$

откуда

$$i_{уст} = \frac{Q_{уст}^2}{\omega^2 C_{ш}^2 R} = \frac{V_{уст}^2}{C_{ш}^2 R}, \quad (4)$$

где $V_{уст}$ — средняя скорость потока; R — гидравлический радиус, $C_{ш}$ — коэффициент Шези, ω — площадь сечения.

Для постов, имеющих установки самописца уровня воды (СУВ), Δi можно определить из следующих предпосылок: предположим, уровень на посту возрос либо уменьшился за период ΔT на ΔH , тогда уклон водной поверхности изменится на

$$\Delta i = \frac{\Delta H}{\Delta T V_n}, \quad (5)$$

Представим формулу (4) в виде

$$\Delta i = \frac{\Delta H}{\Delta T} \frac{1}{V_n}, \quad (6)$$

где $\frac{\Delta H}{\Delta T}$ — скорость падения уровня, определенная по ленте СУВ.

Используя равенства (2), (3), (5), получим

$$i_n = \frac{V_{уст}^2}{C_{ш}^2 R} + \frac{\Delta H}{\Delta T} \frac{1}{V_n} \quad (7)$$

и найдем величину соотношения:

$$K = \frac{Q_n}{Q_{уст}} = \frac{\omega C_{ш} \sqrt{R i_n}}{\omega C_{ш} \sqrt{R i_{уст}}} = \sqrt{\frac{i_n}{i_{уст}}} = \sqrt{1 + \frac{\Delta H}{\Delta T} \frac{C_{ш}^2 R}{V_n V_{уст}^2}}. \quad (8)$$

Заменим для упрощения расчетов гидравлический радиус средней глубиной потока, а произведение $V_n V_{уст}^2$ величиной $V_{уст}^3$; в конечном счете получим

$$K = \sqrt{1 + \frac{\Delta H}{\Delta T} \frac{C_{ш}^2 h_{ср}}{V_{уст}^3}}. \quad (9)$$

Рассматривая выражение (8), можно заметить, что отличие расхода, снятого с кривой $Q=f(H)$, построенной по расходам, измеренным при установившемся режиме потока, от истинного зависит не только от скорости изменения уровня $\left(\frac{\Delta H}{\Delta T}\right)$ в данный момент, но и от коэффициента $C_{ш}$, глубины потока и его скорости. В табл. 1 приведены значения погрешностей, рассчитанных по формуле $\pm \Delta \% = \pm |K-1| \cdot 100\%$ для некоторых комбинаций компонент, входящих в уравнение (9), встречающихся в условиях Средней Азии. Как видно из выражения (9) и расчетов, приведенных в

Таблица 1

Расчет ошибки $\Delta(\%)$ определения мгновенного расхода воды по зависимости $Q=f(H)$

$\pm \frac{\Delta H}{\Delta T}$, см/ч	Шероховатость n	Средняя глубина, м	Средняя скорость, м/с	$\Delta \%$
5	0,05	0,5	1,5	0,0
10	0,05	0,05	1,5	0,1
50	0,05	0,05	1,5	0,3
5	0,05	3,0	1,0	1,3
10	0,05	3,0	1,0	2,6
50	0,05	3,0	1,0	12,2
5	0,03	3,0	1,0	3,5
10	0,03	3,0	1,0	6,9
50	0,03	3,0	1,0	31,1

табл. 1, в условиях неглубоких русел с большой шероховатостью дна, с чем мы нередко встречаемся в горных условиях, погрешность не превышает точности гидрометрических измерений, появление же семейства кривых в основном связано с деформациями русла как в поперечном сечении, так и в плане участка водпоста.

Для глубоких русел рек и особенно каналов с малой шероховатостью дна и малыми скоростями течения ошибка определения мгновенных расходов воды может достигать больших значений. Так, например, для поста Кзылкишлак, расположенного на р. Сырдарья, в нижнем бьефе Кайраккумского водохранилища она может достигать 50—100 м³/с при $Q = 800$ м³/с.

Значительно уточнить величину стока подобные расчеты могут только в случаях, когда внутри интересующего нас периода преобладают однозначные изменения водности водотока. В противном случае погрешности могут компенсироваться.

При анализе месячных балансов Кайраккумского водохранилища была рассчитана суммарная поправка к балансу за счет асимметрии отклонений точек от кривых $Q = f(H)$, связанной с периодичностью русловых процессов и изменчивостью режима основных водотоков при измерениях расходов воды. Результаты сделанной проработки показали, что асимметрия среднего отклонения точек от кривых не превышала 2—3%, что в пределах допустимой погрешности данного метода. Только в 15 случаях из 28 (табл. 2) внесение поправок привело к некоторому уменьшению абсолютных невязок месячных балансов. Это говорит о том, что в данном случае причину невязок следует искать в другом.

Компоненты баланса P_0 , P_6 и C , хотя все они связаны с учетом поверхностного стока, имеют некоторые отличительные особенности, которые нельзя не отметить. Так, например, нередко случаи, когда пункты учета притока воды в водохранилище попадают в зону выклинивания подпора, что в значительной мере уменьшает точность определения P_0 и P_6 . Боковая приточность в равнинной части в основном представлена коллекторно-дренажной сетью, а на горных водохранилищах значительную роль в балансах могут играть и временно действующие потоки. Учесть весь дополнительный приток не всегда возможно, и это нередко является основной причиной невязки составляющих балансов.

Опыт расчета баланса в маловодные годы, когда было обращено особое внимание на точность определения стока в нижних бьефах водохранилищ, показал, что наилучшие результаты дает метод учета стока по временным кривым на постах Госкомгидромета.

Учет забора воды насосными станциями (Z_n) по сложности несколько сходен с определением бокового притока P_6 . Трудности связаны с полнотой учета как количества действующих насосных станций, так и забора воды каждой из них в период составления баланса.

Осадки, выпадающие на площадь зеркала водохранилища, играют в балансе незначительную роль. Точность их учета определяется в первую очередь репрезентативностью осадкомерных постов, а также их количеством в районе изучаемого водохранилища. При составлении и анализе водных балансов нельзя забывать, что осадки, особенно в горных районах, нередко вызывают образование селевых потоков, которые могут оказать существенное влияние на объем бокового притока.

Результаты расчета поправок (Δ абс 10^6 м^3) к невязкам месячных балансов
Кайракумского водохранилища

Год	Невязка баланса	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1971	ΔW абс	101	21	66	34	69	66	80	111	21	-23	13	74
	ΔW %	7,0	1,9	6,1	2,2	2,8	2,1	4,2	5,8	1,8	2,1	1,1	6
	Δ абс	16		15					-1				-4
	$\Delta W'$ %	8,1	1,9	7,5	2,2	2,8	2,1	4,2	5,7	1,8	2,1	1,1	5,5
1972	ΔW абс	-43	-130	-110	-11	-1	-45	116	98	56	13	-73	49
	ΔW %	4,5	11,6	8,2	0,8	0,0	2,0	5,4	4,9	5,7	1,0	5,3	4,5
	Δ абс		-15	42				12	-11	-11		-22	
	$\Delta W'$ %	4,5	12,9	5,1	0,8	0,0	2,0	6,0	4,9	4,6	1,0	6,9	4,5
1973	ΔW абс	13	-12	-52	16	-101	-123	-128	130	-29	-93	-103	-62
	ΔW %	1,1	1,3	4,8	0,9	3,5	3,7	4,5	5,3	2,9	8,4	9,4	6,9
	Δ абс			-18				-6	44		24	21	46
	$\Delta W'$ %	1,1	1,3	6,5	0,9	3,5	3,7	4,7	7,1	2,9	6,2	7,5	1,8
1974	ΔW абс	-32	-62	72	50	-38	65	14	-2	-47	-71	8	-35
	ΔW %	3,3	6,6	7,0	5,8	3,1	3,4	0,9	0,0	5,9	6,4	1,0	4,3
	Δ абс		-2	6	-2					8	4		
	$\Delta W'$ %	3,3	6,8	7,6	5,6	3,1	3,4	0,9	0,0	4,9	6,0	1,0	4,3
1975	ΔW абс	-21	-22	51	-2	97	-49	-39	-20	63	33	4	3
	ΔW %	3,3	3,0	5,6	0,3	4,3	2,8	2,7	2,5	12,3	6,4	0,5	0,4
	Δ абс			2						-10	-3		
	$\Delta W'$ %	3,3	3,0	5,8	0,3	4,3	2,8	2,7	2,5	10,3	5,8	0,5	0,4
1976	ΔW абс	-39	-52	-41	17	-34	-6	74	-86	69	61	-18	-4
	ΔW %	5,0	5,5	4,3	0,8	1,7	0,3	3,9	6,0	10,6	7,6	2,2	0,5
	Δ абс	7	-7						-3	-8	-22		
	$\Delta W'$ %	4,1	6,2	4,3	0,8	1,7	0,3	3,9	6,2	9,4	4,9	2,2	0,5

Для расчета испарения с водной поверхности водохранилищ используется формула ГГИ [5]:

$$E = 0,14(e_c - e_{200})(1 + 0,72W_{200}), \quad (10)$$

которая, как это неоднократно доказано, дает хорошие результаты [4]. Основным вопросом повышения точности расчетов является приведение метеоэлементов к открытой области водохранилищ.

Повышение испарения возможно при сработке водоема за счет образования значительных зон мелководья и отшнуровавшихся водоемов, имеющих поверхностную или подземную приточность. Так, например, на Кайраккумском водохранилище при значительной его сработке посредством аэрофотосъемки 1975 г. была обнаружена масса мелководных, а следовательно, хорошо прогреваемых озер общей площадью, составляющей 30% площади основного водохранилища, имеющих постоянную приточность, что повысило объем испарения на 20—25%.

Некоторую особенность имеет расчет испарения с поверхности высокогорных водохранилищ, где в связи со сложностью прилежащего рельефа трудно определить истинное значение метеоэлементов над водоемом. При этом важно оценить влияние атмосферного давления, не учитываемого в формуле ГГИ, на интенсивность испарения. Поэтому при изучении испарения в данных условиях необходимо более серьезно относиться к работам в открытой области водохранилищ. Большую пользу в этом могут оказать плавучие испарители, установленные в характерных местах водоема.

Погрешности определения объема аккумуляции воды в чаше водохранилища (A_v) могут быть вызваны двумя причинами: 1) неточностью установленной зависимости объемов воды от уровня, 2) неточностью определения уровня воды.

Кривая объемов строится, как известно, по материалам промерных и геодезических работ, которые необходимо производить тем чаще, чем интенсивней происходят процессы деформации ложа водохранилища, связанные с его заилением, занесением и переформированием берегов. Точность данных работ зависит в первую очередь от надежности плановой основы. Съёмки водохранилищ рациональнее всего делать при наивысшем подпорном уровне (НПУ) воды. Это значительно сокращает объем и время работ. При промерах водохранилищ шириной менее 5—7 км хорошие результаты дает эхолотирование с засечкой положения судна двумя-тремя теодолитами. Судно при этом может двигаться как по косым галсам, так и по створам. Большую помощь в обработке материалов может оказать подробная теодолитная съемка линии уреза воды. Бесспорно ценным, а также остро необходимым является план водохранилища на этот период, полученный по результатам аэрофотосъемки.

Наблюдения за уровнем воды в водохранилищах ведутся на водомерных постах речного или свайного типа. Чаще всего водомерные посты организуются в приплотинной зоне или на самой плотине, при этом, как правило, наблюдения ведутся на одном посту, что часто является недостаточным, так как на режим уровня рас-

смаатриваемого водохранилища оказывают влияние не только водобалансовые факторы, но и динамические ветровые денивелиции.

Одной из основных причин, влияющих на точность определения уровня, является его искажение в результате ветрового воздействия на водную поверхность. Согласно наставлению при волнении уровень воды определяется полусуммой значений максимального и минимального волновых горизонтов. Но, как известно из теории ветровых волн, их форма значительно отличается от синусоидальной. Общее семейство кривых, наблюдаемых в природе профилей волн, выражается уравнением [6]:

$$x = \frac{\lambda \theta}{2\pi} + \frac{1-\sigma}{1+\sigma} \frac{x}{4} \sin \theta, \quad (11)$$

$$y = \frac{h}{2} \cos \theta. \quad (12)$$

Здесь h и λ — соответственно высота и длина волны, θ — фазовый угол, а $\sigma = \frac{AB}{BC}$, где AB — длина гребня, BC — длина ложбины волны.

В результате некоторой заостренности вершины волны истинный уровень при волнении несколько ниже определяемого обычным способом. Для оценки искажения уровня воды при волнении воспользуемся отношением $K_v = \frac{\Delta h}{h}$, где Δh — завышение уровня, определяемого по водомерной рейке при волнении. Величина Δh определялась графически и равна величине смещения оси x вниз до положения, при котором площади профиля гребня (F_r) и ложбины (F_l) равны между собой. В табл. 3 приведены результаты расчетов K_v для наиболее вероятных значений h/λ и σ .

Таблица 3

h/λ	σ				
	0,33	0,5	0,6	0,7	0,8
0,05	0,16	0,12	0,10	0,06	0,03
0,07	0,16	0,12	0,10	0,06	
0,09	0,17	0,13	0,09		
0,11	0,18	0,13			
0,13	0,18				
0,143	0,19				

Из сделанных расчетов видно, что даже в случаях минимального заострения волны при водомерных наблюдениях мы вносим систематическую погрешность, в некоторых случаях значительно превышающую по абсолютной величине случайную ошибку отсчета уровня по рейке. При недостаточной изученности ветрового волнения на данном водохранилище можно все-таки несколько уточнить измеренную величину уровня водохранилища, используя наи-

меньшие значения K_6 . Основные элементы волны при этом можно вычислить по формулам, приведенным в работе А. В. Караушева [1]:

$$h = 0,0208 W^{5/4} x^{1/3}, \quad (13)$$

$$\lambda = 0,304 W x^{1/2}, \quad (14)$$

где h и λ — соответственно высота и длина волны, м; W — скорость ветра на высоте флюгера, м/с; x — разгон волны, км.

Из рассмотрения формул (12), (11) и табл. 3 видно, что значения K_6 тем больше, чем выше скорость ветра и меньше длина разгона волны, что характерно для небольших водоемов. На Куюмазарском водохранилище Δh при метровой высоте волны может достигать 10—15 см.

Как это уже было отмечено, на водохранилищах Узбекистана имеется, как правило, не более одного постоянно действующего водомерного поста. В результате сгонно-нагонных явлений уровни, измеряемые на постах, расположенных в приплотинной части, не всегда отражают средний уровень воды для всего водоема. Учитывая, что наполнение водохранилища меняется плавно, средний уровень воды можно определить, сделав срезку нагонных или сгонных горизонтов. Но для этого нужны наблюдения за уровнем от начала до конца ветрового воздействия, что мы не всегда имеем при составлении оперативных водных балансов. В основу предложенного метода расчета ветровых деинвляций положена формула, приведенная в работе [1]:

$$\Delta z = (3 + 10h) 10^{-8} \frac{L}{H_{\text{ср}}} W_{\text{фл}}^2 \cos \alpha, \quad (15)$$

где Δz — абсолютная разность уровней в двух точках (в данном случае между центром тяжести водоема и водомерным постом); L — расстояние между этими точками, км; $H_{\text{ср}}$ — средняя глубина водоема (м) в зоне между теми же точками; α — угол между направлением ветра и осью; $W_{\text{фл}}$ — скорость ветра на высоте флюгера, м/с; h — средняя высота волны (м) на рассматриваемом участке.

Для конкретного водохранилища формулу (13) можно несколько упростить

$$\Delta z = K_6 \frac{L}{H_{\text{ср}}} W^2 \cos \alpha, \quad (16)$$

где K_6 — угол наклона линии связи $\Delta z = f\left(\frac{L}{H_{\text{ср}}} W^2 \cos \alpha\right)$.

Для определения Δz строится график колебания уровня по всем имеющимся наблюдениям на посту. Затем на нем отмечаются точки, соответствующие срокам, в которые величина $W_{\text{фл}}^2 \cos \alpha$ близка к нулю. Если смена знака $\cos \alpha$ происходила между сроками наблюдений, то положение этой точки на графике находится интерпо-

ляцией (рис. 2). После соединения полученных точек ломаной линией определяются величины нагона или сгона (Δz) для сроков, которым предшествовало неизменное направление ветра в течение периода не менее 4—5 ч.

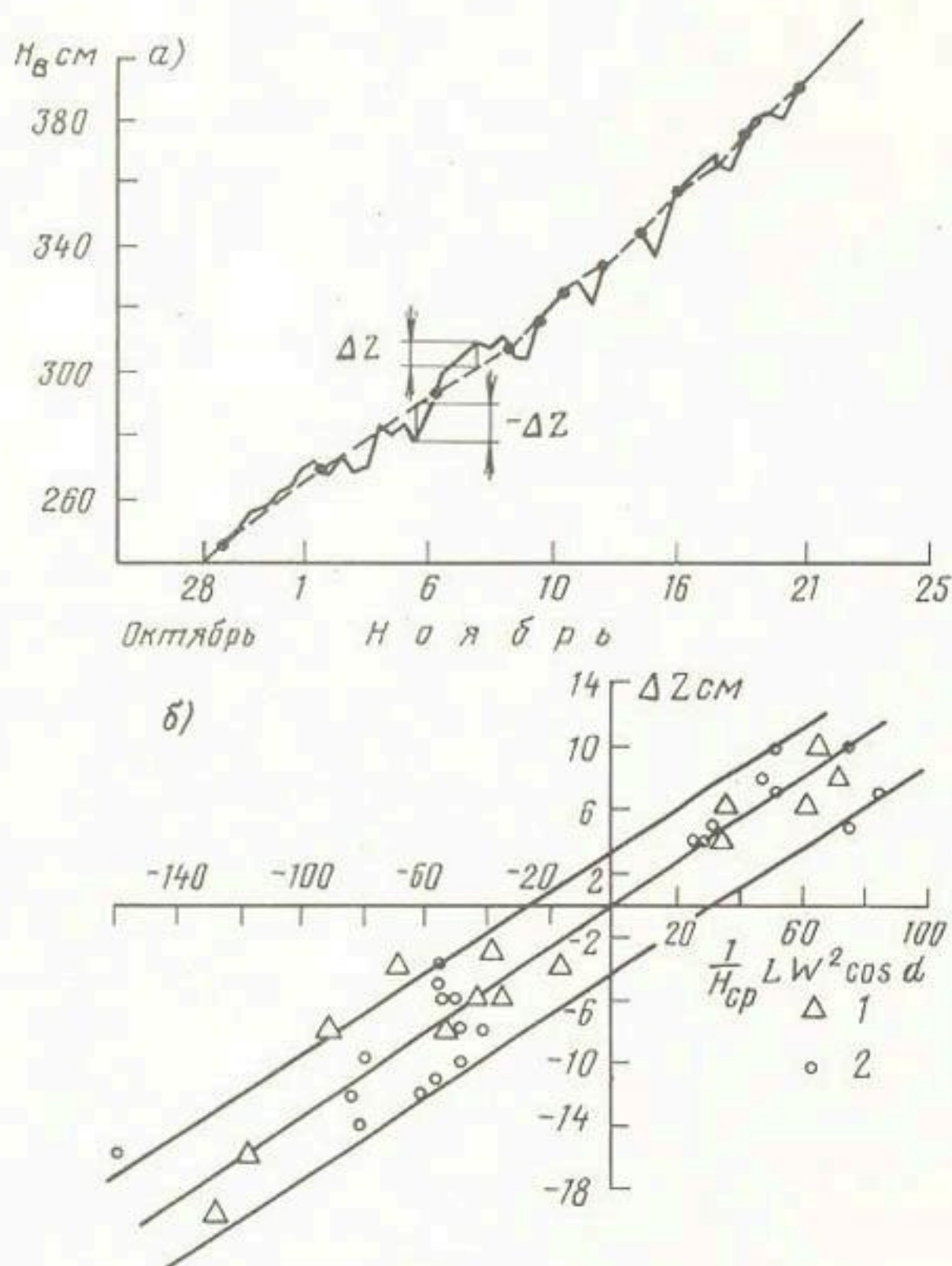


Рис. 2. Расчет сгонно-нагонных явлений на Кайрак-кумском водохранилище:

а — определение Δz с помощью хронологического графика изменения уровня воды в водохранилище (1978 г.); б — график зависимости $\Delta z = f \left(\frac{1}{H_{cp}} \cdot L \cdot W^2 \cdot \cos \alpha \right)$; 1 — 1977 г., 2 — 1978 г.

При определении остальных величин, входящих в формулу (15), используются данные наблюдения за ветром на водпостах или метеоплощадках, расположенных в районе водохранилища, и план водоема в горизонталях. При этом нужно учитывать, что на водпостах, расположенных на плотинах, направление и скорость ветра могут значительно искажаться. На рис. 2. показан пример определения K_6 к формуле (16) для поста Кайраккум, расположенного на плотине Кайраккумского водохранилища. В расчетах использовались наблюдения за ветром на посту Джидалык, находящемся

на левом берегу водохранилища в месте, отражающем его ветровой режим. Наблюдения за уровнем на посту Джидалык ведутся нерегулярно в связи с трудностями подхода к воде при значительных сработках водохранилища и наличии ледовых явлений. Среднее отклонение точек от полученной линии связи составляет ± 2 см, в то время как максимальное не превышает в основном 4 см. Преимущество метода заключается в том, что он не требует дополнительных наблюдений за волнением и элементами, входящими в выражение (16).

Прежде чем приступить к изучению компонента водного баланса V_n , полезно представить его в виде двух составляющих

$$V_n = V'_n + \Delta V'_n,$$

где V'_n — постоянная составляющая приточности (отточности); $\Delta V'_n$ — изменение V_n за счет регулирующего влияния грунтов прибрежной части, которое для водохранилищ Узбекистана, как правило, находится в прямой зависимости от $|V'_n|$.

В работе [3] было отмечено влияние наполнения Тюябугузского водохранилища на величину подземной приточности, а также регулирующего воздействия на нее мощного водоносного слоя в долине р. Ахангаран.

Учитывая определяющее влияние на V'_n относительно положения уровня подземных вод в районе водохранилища (H_n) и уровня воды в самом водохранилище, можно выделить три основных типа обмена подпорного бьефа с подземными водами:

1. $H_{n, \text{ ср. год}} < H_{в, \text{ ср. год}}$. В этом случае в месячных балансах преобладают положительные значения невязки.

2. $H_{n, \text{ ср. год}} > H_{в, \text{ ср. год}}$. В этом случае наблюдается неучтенная приточность и преобладание отрицательных значений невязки.

3. $H_{г, \text{ ср. год}} \approx H_{г, \text{ ср. год}}$. В данном случае величина годовых невязок незначительна и находится в пределах нормы, а следовательно, постоянная составляющая подземной приточности (V'_n) незначительна или отсутствует вообще.

При наличии в балансе значительной подземной приточности (отточности) в ходе невязок во времени наблюдается некоторая закономерность, отражающая ход уровня и аккумуляцию воды в водохранилище и несколько искаженная наложением погрешностей расчетов других элементов баланса. Для определения наиболее вероятных месячных значений V'_n строится график связи $W_{\text{абс}} = f(H_{в, \text{ ср. мес}})$.

На рис. 3 а представлены зависимости невязок балансов от среднемесячных уровней, построенные по трехлетиям для Тюябугузского водохранилища. Для построения этих зависимостей использовались данные за месяц, в которых $\Delta H_{в} \geq 0$, за исключением периодов со значительным притоком по р. Ахангаран из-за недостаточной точности его учета. Относительно тесную связь для этих месяцев можно объяснить тем, что при подъеме уровня воды в водо-

хранилище имеющаяся регулирующая русловая емкость р. Ахан-гаран из-за значительного подпора подземных вод в большой пористости слагающих ее грунтов быстро заполняется подземными и поверхностными водами самой реки. Этим поддерживается естественный уклон воды, соответствующий V'_n для всевозможных значений горизонтов воды в водохранилище. Из рис. 3 можно сделать

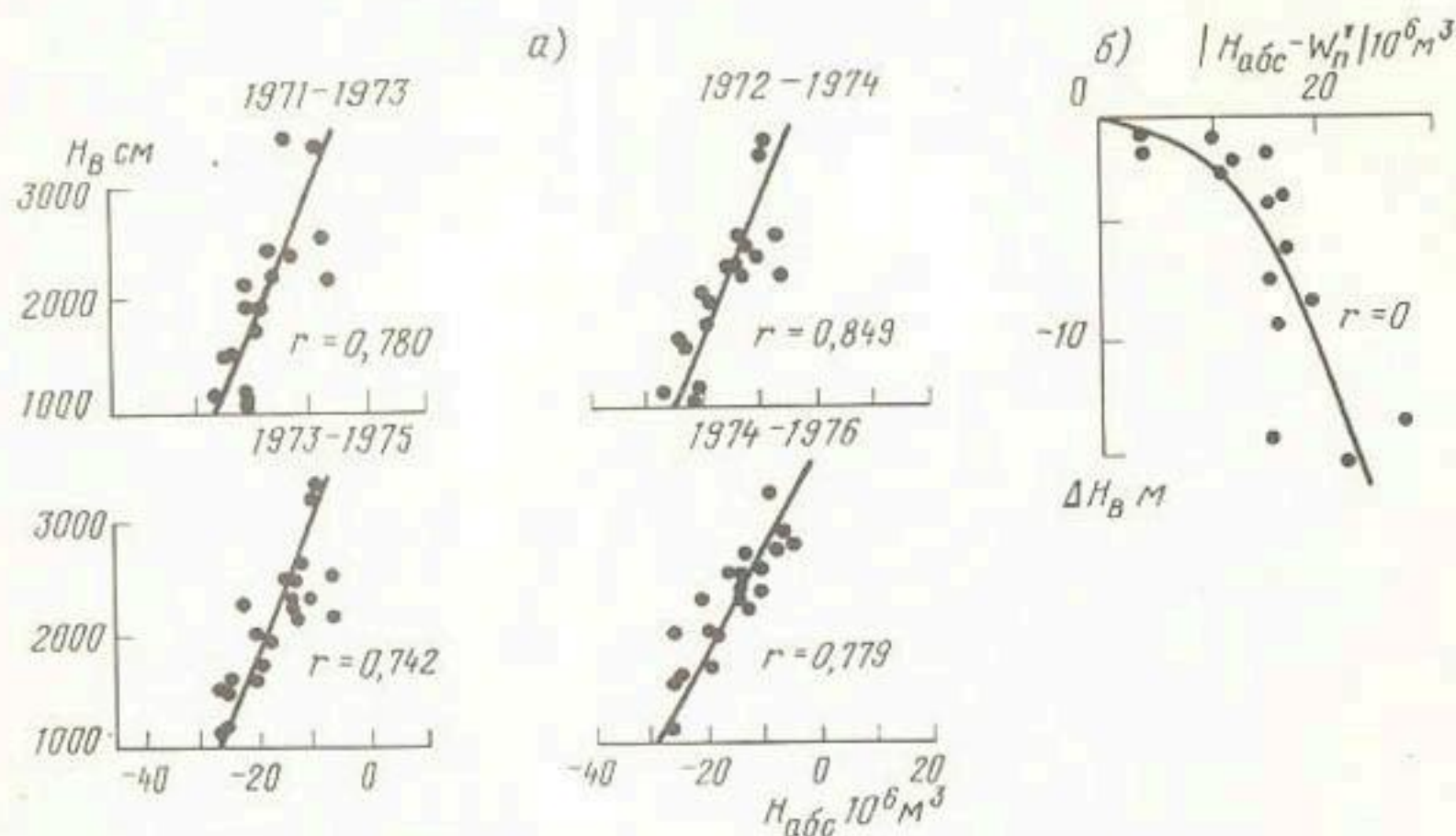


Рис. 3. Расчет подземной приточности для Тюбугузского водохранилища:

а — зависимость невязок месячных водных балансов от наполнения водохранилищ для скользящих трехлетий; б — график связи $(W_{абс} - V'_n) = f(\Delta H_{в})$

вывод, что уровни подземных вод в данном случае меняются незначительно, и при определении V'_n для Тюбугузского водохранилища можно пользоваться зависимостью $V'_n = f(H_{в})$, построенной по данным трех предшествующих лет.

При значительном разбросе точек на графике связи $W_{абс \text{ мес}} = f(H_{в, \text{ ср. м}})$, как это имеет место для Каттакурганского водохранилища, постоянную составляющую V'_n можно выделить, используя зависимость невязок баланса от средних уровней для периодов длительностью 5—8 мес, на концах которых уровни в водохранилище близки между собой. В этом случае мы уменьшаем невязки за счет погрешности определения всех элементов баланса, включая неточности кривой объемов, а также влияние на нее (невязку) $\Delta V'_n$. Выявить же, что точность кривой объемов недостаточна и требуется съемка чаши водохранилища, иногда помогает график нарастающей суммы невязок балансов, полученных после учета V'_n по месячным диапазонам изменения уровня. Значение $\Delta V'_n$ зависит от свойств грунтов прибрежной зоны, а также от интенсивности падения или роста уровня воды в водохранилище. На рис. 3 б изображена зависимость невязок месячных балансов после учета V'_n

Невязка месячных водных балансов Тюябугузского и Каттакурганского водохранилищ
без учета и с учетом $V_{\Pi} = V'_{\Pi} + \Delta V_{\Pi}$

Год	Компонент	Объем 10 ⁶ м ³											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Тюябугузское водохранилище													
1975	ΔW абс	-13,9	-12,5	6,80	17,3	3,80	-12,6	-31,5	-37,2	-25,6	-20,4	-19,2	-15,4
	ΔW %	73,8	74,3	15,2	20,5	5,40	22,3	28,2	27,2	97,0	96,6	78,7	65,8
	V_{Π}	15,5	14,2	—	—	—	14,1	32,7	36,8	23,6	22,2	19,5	16,6
	$\Delta W'$ абс	1,60	1,70	6,80	17,3	3,80	1,50	1,20	-0,40	-2,00	1,80	0,30	1,20
	%	7,9	9,2	15,2	20,5	5,4	2,7	1,1	0,3	7,6	7,9	1,1	5,0
1976	ΔW абс	-12,2	-9,66	-9,18	95,7	56,4	-22,6	-26,0	-31,4	-31,4	-25,4	-16,7	-8,88
	ΔW %	61,0	56,7	53,7	30,3	22,9	42,9	32,2	31,5	71,2	87,4	40,4	29,4
	V_{Π}	14,6	13,2	12,1	—	—	17,7	23,5	33,8	30,6	19,4	16,0	13,0
	$\Delta W'$ абс	2,40	3,54	2,92	95,7	56,4	-4,90	-2,50	-0,50	-0,80	-6,00	-0,70	4,12
	%	10,8	17,2	14,6	30,3	22,9	9,3	3,1	0,5	1,8	20,5	1,8	12,0
Каттакурганское водохранилище													
1977	ΔW абс	6,66	15,5	0,12	-13,4	-2,55	9,18	13,5	22,2	-16,4	7,07	9,88	23,9
	ΔW %	5,1	12,7	0,1	7,5	1,9	13,2	9,1	19,0	19,4	3,8	5,5	13,8
	V_{Π}	-12,4	-13,9	-14,2	-11,6	-9,4	-8,2	-7,0	-0,8	0,2	-5,6	-9,6	-12,0
	$\Delta W'$ абс	-5,74	1,60	-14,1	-25,0	-12,0	0,98	6,50	21,4	16,2	1,47	0,28	11,9
	%	4,4	1,3	9,2	12,9	8,3	1,3	4,5	18,3	19,1	0,8	0,2	6,9

от разницы уровней в начале и конце месяца (ΔH_v) для Тюябугузского водохранилища. При построении графика использовались данные за месяцы, в которые $\Delta H_v < 0$.

Величину $\Delta V'_n$ можно также выделить, используя зависимость, построенную отдельно для наполнения и сработки водохранилища.

При расчетах $\Delta V'_n$ необходимо помнить, что неточность кривой объемов этими методами отделить от ΔV_n невозможно. Поэтому для успешного изучения подземной приточности при необходимости следует уточнить кривую объемов посредством батиметрической съемки чаши водохранилища. В табл. 4 в качестве примера приведен расчет месячных величин подземного притока (стока) для Тюябугузского и Каттакурганского водохранилищ, а также приведены невязки балансов до и после их уточнения.

Выводы

1. На точность составления балансов водохранилищ Узбекистана основное влияние оказывают погрешности учета жидкого стока.

2. Используя материалы наблюдений за предшествующие годы, можно во многих случаях значительно уточнить составляемые водные балансы водохранилищ.

3. Для изучения подземной приточности можно воспользоваться методом водного баланса, но прежде необходимо устранить погрешности определения других компонентов водного баланса, принципиально искажающие закономерности изменения V_n .

4. Расчетные методы, предложенные в работе, можно применять при составлении оперативных балансов, что, несомненно, повысит их качество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Караушев А. В. Сгонно-нагонные явления на водохранилищах и озерах. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 216 с.
2. Нежиховский Р. А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 192 с.
3. Никитин А. М., Лукина Н. К. Определение составляющих водного баланса Ташкентского водохранилища. — В кн.: Сб. научн. трудов ТашГУ, 1976, № 523, с. 40—51.
4. Рейзвих В. Н., Попова А. Б. Испарения с водной поверхности в условиях Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1971, вып. 62 (77), с. 57—74.
5. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 84 с.
6. Шулейкин В. В. Физика моря. — М.: Наука, 1969. — 1084 с.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НАД АКВАТОРИЕЙ АРНАСАЙСКИХ ОЗЕР

Арнасайский озерный массив, объединяющий озера Айдар, Тузкане и Арнасай, образовался в 1969 г. в результате сброса 21 км³ воды из Чардаринского водохранилища в бессточное арнасайское понижение. Возникновение в пустынной зоне крупного водоема площадью около 2300 км² существенно изменило гидрометеорологический режим этого региона. Для изучения метеорологического режима в период комплексного экспедиционного исследования Арнасайских озер (1973—1974 гг.) были организованы специальные наблюдения как на суше, включающие круглогодичные актинометрические, градиентные, метеорологические наблюдения, так и наблюдения над водной поверхностью: рейдовые, суточные станции, гигротермические съемки, наблюдения на плавучем испарителе.

Полученные материалы позволили осветить микроклиматический режим приводного слоя, охарактеризовать особенности трансформации воздушного потока над различными подстилающими поверхностями как в условиях значительных сверхадиабатических, так и инверсионных стратификаций атмосферы, характерных для водоемов, расположенных в пустынной зоне.

Сравнение величин, наблюдаемых над водоемом, с рассчитанными по данным береговых станций позволило выбрать репрезентативные методы и рассчитать многолетние метеорологические характеристики над различными зонами акватории Арнасайского озерного комплекса.

В данной статье рассматриваются некоторые особенности ветрового режима, температуры и влажности воздуха, в первую очередь влияющих на режим испарения — компонента баланса, определяющего режим бессточных озер.

На равнинной территории Голодной степи и пустыни Кызылкум, на стыке которых образовались озера, характерны умеренные ветры северо-восточных румбов [1]. Это подтверждается данными метеорологических станций Чардара, Машикудук, Орибасар, Фариш, Дустлик, расположенных вокруг озерного массива. При этом если для зимних месяцев преобладающим является северо-восточный, то в летние — северный перенос воздушных масс, обусловленный градиентами давления, формирующимися при наиболее типичных синоптических процессах.

Результаты двухлетних экспедиционных метеорологических наблюдений в районе озер показывают, что с возникновением водоемов над их акваторией существенно изменилась не только скорость, но и направление ветра. На озерах стали характерными ветры западно-северо-западного румбов, направленные вдоль главной оси водоемов. На их долю приходится 42% всех случаев за безледоставный период. Влияние водоема прослеживается и на близрасположенной ст. Дустлик, где в летние месяцы отмечается высокая повторяемость как северных (характерных для суши), так и западно-северо-западных (характерных для водоема) ветров (рис. 1).

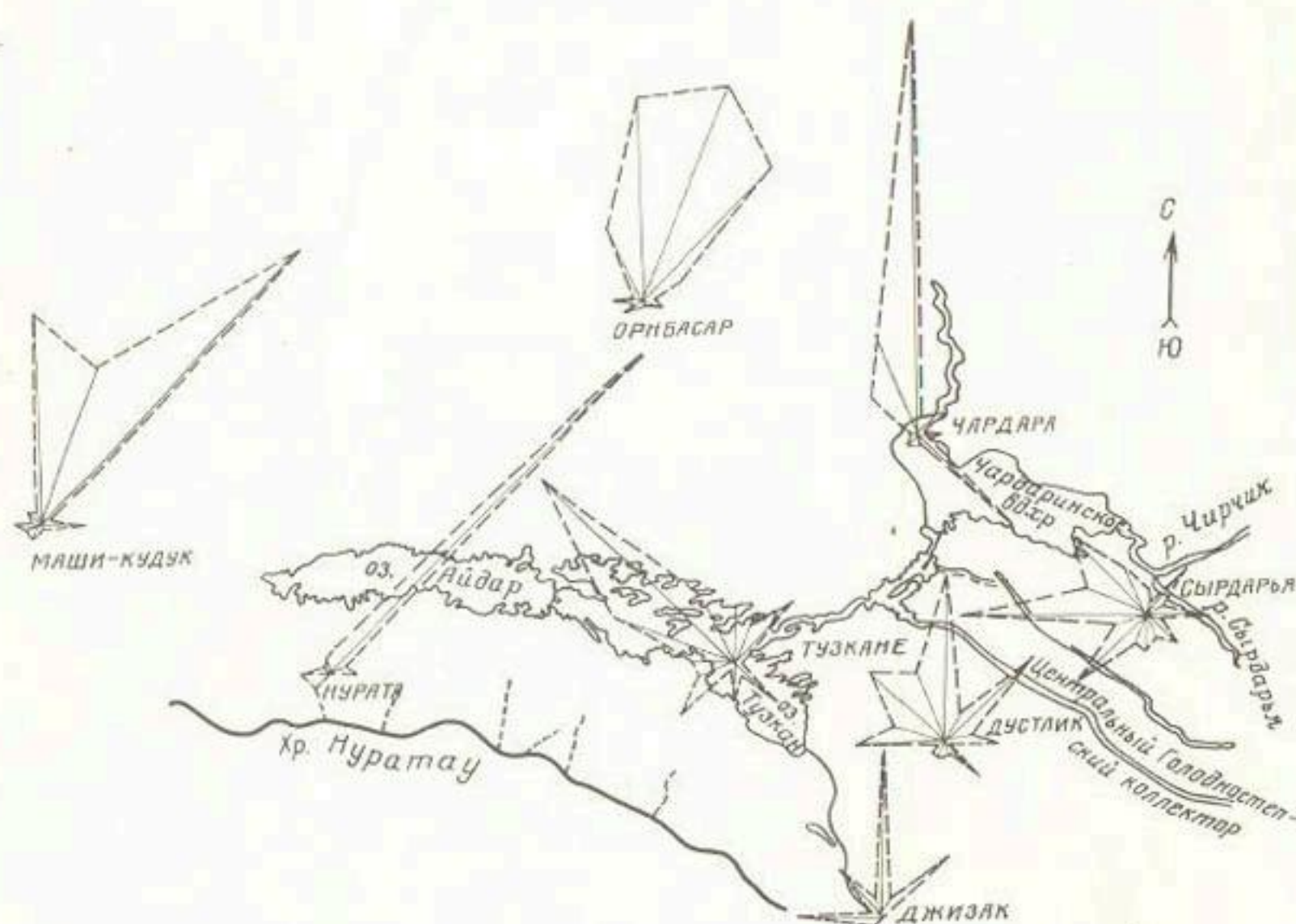


Рис. 1. Повторяемость ветров различных направлений за безледоставный период 1974 г. (у станций даны розы ветров)

Анализ синхронных измерений поля ветра в различных зонах озер показал, что при синоптических процессах, характеризующихся преобладанием штилевой погоды над различными водоемами, как правило, формируются местные ветры, охватывающие небольшую часть акватории. Скорость этих ветров не превышает 1—2 м/с, а соотношение скорости и направлений ветра в различных зонах может быть самым разнообразным. При скоростях выше 3 м/с отмечается упорядочение ветрового поля, и над всей акваторией озер устанавливаются ветры преимущественно одного направления. Гигротермические съемки, выполненные при устойчивых ветрах, показывают, что направление ветра при движении воздушного потока над акваторией оз. Тузкане практически не меняется и отклонения отдельных наблюдений находятся в пределах точности измерений.

В условиях равновесной стратификации атмосферы отмечается усиление скорости ветра при переходе воздушного потока с суши на водоем и его уменьшение при обратном направлении ветра. Возрастание скорости ветра над водоемом обусловлено уменьшением шероховатости деятельной поверхности воды по сравнению с сушей. В районе береговой метеорологической ст. Тузкане слой шероховатости (z_0), определенный по осредненным за декады градиентным наблюдениям, менялся от 3 см в весенний период при развитии травянистой растительности до 1,1 см в летние месяцы. На оз. Айдар, береговая зона, заросшая кустарником, представлена в большинстве случаев бугристо-грядовым рельефом с перепадом высот 5—10 м, слой шероховатости значительно выше и составляет в пункте наблюдений $z_0 = 4—5$ см. Наблюдения над водной поверхностью оз. Тузкане, проведенные в летние месяцы, дали значения $z_0 = 0,07$ см. Осредненное соотношение скорости ветра над водоемом и сушей (при равновесной стратификации) для пункта, удаленного от берега на 5 км, оказалось равным 1,38. Отношение скоростей ветра над водоемом и сушей для случаев набегания воздушного потока с водоема на метеорологическую станцию дало значения $\frac{V_n}{V_c} = 0,90$.

Равновесные условия над сушей и водоемом встречаются редко, особенно на озерах, расположенных в резкоконтинентальных аридных районах, где температура воды и воздуха может продолжительное время различаться на десятки градусов. Это приводит к формированию в приземном (приводном) слое термической стратификации, влияющей на интенсивность трансформации воздушного потока при его движении над различными подстилающими поверхностями. Если температура деятельной поверхности выше температуры воздуха (что встречается над водоемом в осенний период и в ночные часы летнего периода), то интенсивность вертикального обмена, в том числе и количества движения, возрастает, приводя к возрастанию скорости ветра в приводном слое. При противоположном распределении температур отмечается уменьшение скорости ветра в приводных слоях.

В качестве величины, характеризующей влияние термической стратификации атмосферы на интенсивность обмена в приземном слое, обычно используют отношение перепада температур к квадрату скорости ветра $\left(\frac{\Delta T}{V^2}\right)$. В некоторых работах получены количественные зависимости соотношения скорости ветра на водоеме и суше в зависимости от фактора устойчивости, из которых наибольшее распространение получили работы, выполненные в ГГО и ГГИ. Расчетные методы, основанные на учете изменения шероховатости и фактора устойчивости атмосферы на суше и воде [6], и метод, учитывающий дополнительное влияние горизонтального барического градиента между сушей и водоемом [4], для срочных значений дают наилучшие результаты по сравнению с методом, учитывающим только характер защищенности континентальной метеороло-

Сопоставление скорости ветра, измеренной над водоемом и рассчитанной по различным методикам за отдельные сроки 1973 г.

Декада	Срок наб- людения, ч мин	$V_{200 \text{ в}}$	$V_{200 \text{ с}}$	По методике Тимофеева [4]		По методике Кожевникова [7]		По указаниям [111]		По формуле (1)		По формуле (2)	
				$\frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{с}}}$		$V_{\text{в}}$ %		$V_{\text{в}}$ %		$V_{\text{в}}$ %		$V_{\text{в}}$ %	
				$V_{\text{в}}$	%	$V_{\text{в}}$	%	$V_{\text{в}}$	%	$V_{\text{в}}$	%	$V_{\text{в}}$	%
Июль													
III	6 30	2,7	1,9	2,3	14,8	2,2	18,5	2,3	14,8	3,1	14,8	3,2	18,5
III	12 30	3,2	2,2	2,8	12,5	1,8	43,8	2,7	15,6	2,2	31,2	2,2	31,2
III	18 30	1,8	2,8	3,4	88,9	2,4	32,3	3,5	94,4	2,9	61,1	2,5	38,9
Август													
I	6 30	4,5	2,1	2,5	44,4	2,2	51,1	2,6	42,2	3,0	33,3	3,4	24,4
I	12 30	3,6	3,4	4,2	16,7	3,1	13,9	4,2	16,7	3,8	5,6	3,1	13,9
I	18 30	3,8	2,9	3,5	7,9	2,9	23,7	3,6	5,3	3,8	0,0	2,8	26,3
II	6 30	3,0	2,2	2,6	13,3	2,5	16,7	2,7	10,0	3,4	13,3	3,5	16,7
II	12 30	2,2	2,6	3,4	54,5	2,1	4,5	3,2	45,4	2,4	9,1	2,5	13,6
II	18 30	2,8	2,0	2,5	10,7	1,8	35,7	2,5	10,7	2,2	21,4	1,9	32,1
III	6 30	3,5	1,6	1,8	48,6	2,5	28,6	2,0	42,8	3,9	11,4	3,4	2,8
III	12 30	3,8	2,7	3,4	10,5	2,5	34,2	3,3	13,2	3,1	18,4	3,7	2,6
III	18 30	2,7	1,7	2,0	25,9	1,6	40,7	2,1	22,2	2,0	25,9	2,1	22,2
Сентябрь													
I	6 30	3,6	1,4	1,7	52,8	2,3	36,1	1,7	52,8	3,6	0,0	3,2	11,1
I	12 30	2,8	2,5	3,1	10,7	2,4	14,3	3,1	10,7	3,2	14,3	4,0	42,8
I	18 30	2,7	1,5	1,8	33,3	1,8	33,3	1,9	29,6	2,6	3,7	3,1	14,8
II	6 30	3,5	1,4	1,7	51,4	2,3	34,3	1,7	51,4	3,6	2,9	3,0	14,3
II	12 30	2,1	2,3	2,9	38,1	2,0	4,8	2,9	38,1	2,5	19,0	3,2	52,4
II	18 30	1,6	1,6	1,9	18,8	1,5	6,2	2,0	25,0	2,0	25,0	2,1	31,2
Сред- нее	6 30	3,5	1,8	2,2	37,1	2,5	28,6	2,2	37,1	3,7	5,7	3,4	2,8
	12 30	3,0	2,6	3,4	13,3	2,3	23,3	3,2	6,7	2,9	3,3	3,2	6,7
	18 30	2,6	2,1	2,5	3,8	2,1	19,2	2,6	0,0	2,7	3,8	2,6	0,0

гической станции [11]. С увеличением периода осреднения ошибки расчетов по методу, рекомендованному в указаниях [11], значительно уменьшаются и для среднедекадных значений составляют 6—10% фактически наблюдаемых величин (табл. 1).

На Арнасайских озерах, расположенных в пустынной зоне, не редки случаи, когда температура подстилающих поверхностей и воздуха отличается на 10—15°C, а скорость ветра над водоемом может в два раза превышать (рис. 2) наблюдаемую на суше. При столь значительном влиянии термической стратификации на ветровой режим в летние и осенние месяцы наилучшие результаты дают расчеты по эмпирическому выражению

$$V_v = V_c \left[0,35 + 1,64 \frac{f_v}{f_c} \right] \quad (1)$$

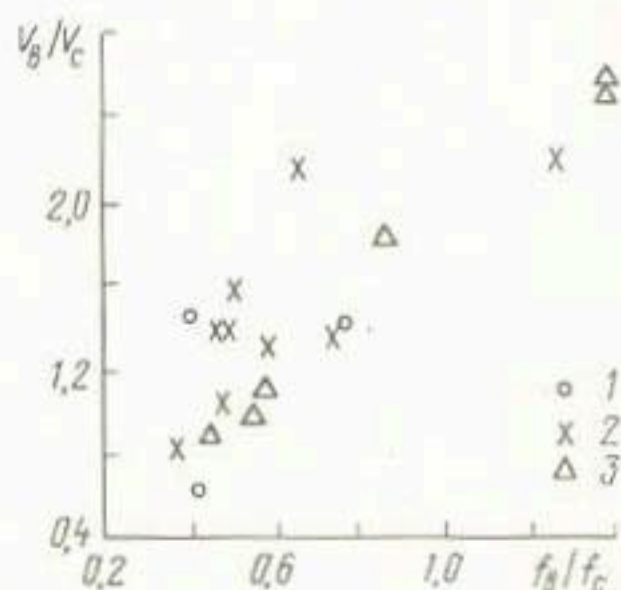
либо по упрощенному уравнению, выведенному по наблюдениям на озерах Айдар и Тузкане:

$$V_v = V_c (1,6 + 0,2 \Delta T), \quad (2)$$

где $f_v = 1 + C_2 \ln \left[\frac{4 \Delta T}{V_v^2} + \sqrt{\left(\frac{4 \Delta T}{V_v^2} \right)^2 + 1} \right]$, $f_c = 1 + C_2 \ln \left[\frac{4 \Delta T'}{V_c^2} + \sqrt{\left(\frac{4 \Delta T'}{V_c^2} \right)^2 + 1} \right]$ — функция фактора устойчивости, полученная

В. П. Кожевниковым по наблюдениям на оз. Джалтыркуль [7]; V_v — скорость ветра на высоте 2 м над водоемом; V_c — скорость ветра, измеренная на высоте 2 м на суше; ΔT — разность температуры поверхности воды и воздуха; $\Delta T'$ — разность температуры поверхности почвы и воздуха.

Рис. 2. Отношение скорости ветра над водоемом и суши в зависимости от факторов устойчивости атмосферы (июль—сентябрь 1973 г.):
1 — июль, 2 — август, 3 — сентябрь



Систематические метеорологические наблюдения над водной поверхностью проводятся редко, и для описания режима, характерного для водной поверхности, в большинстве случаев используют данные береговых станций. Рассчитанные среднемесячные значения, выполненные по уравнению (2) с учетом повторяемости ветров различных румбов, показали, что над акваторией Арнасайских озер господствуют ветры западно-северо-западной ориентации со скоростями 2—3 м/с. Соотношение скорости ветра над водоемом и суши

имеет годовой и суточный ход, определяемый условиями стратификации атмосферы. Как и для большинства водоемов умеренных широт, отмечаются повышенные значения переходного коэффициента в осенний период и их уменьшение весной. В летний период среднемесячные скорости ветра, измеренные на береговой станции, на 1,1 м/с ниже соответствующих значений над водной поверхностью. Внутригодовое изменение средней месячной скорости ветра незначительно (табл. 2), хотя повторяемость штормовых ветров в весенний и осенний период в два раза выше, чем в летний период.

Годовая поверхность штилей в районе оз. Тузкане составляет 12% и изменяется от 6% весной до 16% в летние месяцы. На метеорологических станциях, удаленных от водоема, повторяемость штилевых условий в летний период достигает 30—50%. Наблюдения в прибрежных пунктах показали, что ярко выраженной бризовой циркуляции, вызванной неоднородностью прогрева водной поверхности и прилегающей суши, не отмечалось.

Таблица 2

Средние многолетние скорости ветра (м/с) над различными районами Арнасайского озерного комплекса

Водоем	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Восточный Арнасай	2,2	2,2	2,2	3,7	2,6	2,6	2,8	2,8	2,0	1,9	2,0	2,2	2,4
оз. Тузкане	2,0	2,0	2,0	4,1	2,9	2,9	3,1	3,1	2,2	2,1	1,8	2,0	2,5
Восточный Айдар	2,0	2,0	2,0	3,7	2,6	2,6	2,8	2,8	2,0	1,9	1,8	2,0	2,4
Западный Айдар	2,0	2,0	2,0	3,7	2,6	2,6	2,8	2,8	2,0	1,9	1,8	2,0	2,4

Известно, что озера, обладая повышенной теплоемкостью, оказывают сглаживающее влияние на температуру воздуха. В весенне-летний период температура воздуха над водоемом ниже, чем над прилегающей сушей, в осенние месяцы отмечается обратное соотношение, определяемое отношением температуры воды и почвы.

Однако относительная мелководность Арнасайских водоемов приводит к быстрому изменению теплозапасов при изменении соотношения составляющих теплового баланса. Поэтому значительные перепады температур вода — воздух на озерах не наблюдаются.

Небольшие изменения температуры воды по акватории озер наряду с плавным изменением температуры набегающего на водоем воздуха приводят к тому, что в отличие от скорости ветра поле температуры воздуха над озерами более однородно. Даже срочные значения, измеренные в различных пунктах, хорошо коррелируются между собой. При этом синхронные значения, измеренные в разных точках, отличаются в зависимости от направления ветра, расстояния от уреза, соотношения температур воды и почвы, устойчивости

атмосферы. Коэффициенты корреляции между различными пунктами изменяются в пределах 0,85—0,99. Лучшая сходимость отмечается для периодов устойчивой погоды при установившихся соотношениях между компонентами теплового баланса водоема. Коэффициент корреляции, по данным метеорологической станции и плавучей испарительной установки, оказался несколько выше при ветрах с суши на водоем (табл. 3).

Таблица 3

Соотношение температуры воздуха (°C), измеренной над сушей и водоемом

Район	Среднее			Среднеквадратичное отклонение			Коэффициент корреляции		
	Срок наблюдения, ч								
	08	14	20	08	14	20	08	14	20
Направление ветра с суши на водоем									
Метеостанция	22,6	31,5	28,3	4,77	4,28	5,47			
Озерный пост	22,3	30,0	28,3	4,78	4,71	4,50	0,928	0,954	0,920
Оз. Тузкане	23,8	28,7	28,6	4,30	3,86	3,95	0,975	0,937	0,904
Метеостанция							0,945	0,962	0,930
Направление ветра с водоема на сушу									
Метеостанция	21,7	30,8	29,1	4,73	4,44	4,34			
Озерный пост	22,4	30,1	29,8	4,60	4,34	3,91	0,893	0,972	0,930
Оз. Тузкане	23,1	28,5	30,0	4,06	4,12	3,64	0,883	0,898	0,910
Метеостанция							0,928	0,925	0,920

Суточные изменения температуры над различными подстилающими поверхностями имеют разную амплитуду. Наибольшие отклонения в температуре воздуха, измеренной на береговой метеорологической станции и над водной поверхностью в летние месяцы, отмечались перед восходом солнца и в полдень и составляли 2—3°C. Среднесуточные значения и особенно декадные и месячные величины отличаются в меньшей степени, всего на 0,8—1°C (табл. 4, 5).

По материалам экспедиционных наблюдений рассчитаны статистические зависимости соотношения температуры воздуха над сушей и водоемом. Для каждого сезона года и сроков наблюдений получены линейные зависимости со среднеквадратичным отклонением наблюденных и вычисленных значений, не превышающим 0,2°. Поскольку эти зависимости отражают сложившиеся в период наблюдений соотношения температур воды и почвы, то для расчета многолетних характеристик привлекались методы, проверенные на широком диапазоне соотношений составляющих теплового баланса.

Проверка расчетных методов показала, что использование уравнения

$$T = T_c + (T_v - T_c) M, \quad (3)$$

где T — температура воздуха над водоемом на расстоянии L км от берега; T_c — температура воздуха на континентальной метеороло-

Таблица 4

Осредненные суточные наблюдения в центральном плёсе оз. Тузкане и на береговой метеорологической станции за июнь—август 1973—1974 гг.

	Срок наблюдения, ч								Сутки
	00	03	06	09	12	15	18	21	
Над водоемом									
$t_{\text{возд}}$	27,5	25,7	24,9	25,7	28,0	30,4	30,6	29,0	27,7
$t_{20^{\circ}\text{C}}$	21,0	17,7	17,3	16,9	18,7	19,5	21,3	22,0	19,3
V_{200}	3,7	2,9	3,2	3,7	2,8	2,4	2,7	3,0	3,0
$t_{\text{воды}}$	26,5	26,0	26,0	25,8	26,5	27,7	27,9	27,1	26,7
Над сушей									
$t'_{\text{возд}}$	23,5	24,1	23,9	26,3	31,7	32,8	30,2	29,5	27,8
t'_{200}	15,1	14,0	15,3	14,4	13,9	12,6	14,5	17,9	14,7
V'_{200}	1,0	1,4	2,4	2,1	3,2	2,6	2,0	1,8	2,1
$t'_{\text{почвы}}$	21,9	20,5	21,4	37,9	51,7	54,1	42,5	29,3	34,9
V_{200}/V'_{200}	3,70	2,07	1,33	1,76	0,88	0,92	1,35	1,67	1,43

Таблица 5

Средняя многолетняя температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) над различными районами Арнасайского озерного комплекса

Водоем	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Над водоемом													
Восточный Арнасай	-2,1	0,9	7,9	15,1	21,9	27,1	28,6	25,2	19,8	13,2	6,6	1,0	13,8
оз. Тузкане	-0,9	0,7	7,7	14,3	21,8	26,6	28,6	26,2	21,5	13,9	7,2	1,9	14,1
Восточный Айдар	-1,1	0,7	7,2	14,0	21,8	26,4	28,5	26,5	22,0	14,1	7,6	2,0	14,1
Западный Айдар	0,0	1,0	7,1	13,6	21,6	26,7	28,8	27,3	22,1	14,2	7,8	2,6	14,4
Над сушей													
Восточный Арнасай	-3,1	-0,5	7,9	15,2	22,0	27,1	28,8	25,0	19,7	12,8	6,4	0,1	13,4
оз. Тузкане	-2,1	0,2	8,0	14,6	22,2	26,8	29,4	26,5	21,0	13,0	7,0	1,0	14,0
Восточный Айдар	-2,5	0,1	7,8	14,0	22,1	26,6	29,7	26,7	21,2	12,8	6,9	0,5	13,8
Западный Айдар	-1,1	0,6	7,6	13,6	22,2	27,1	30,1	27,6	21,4	12,8	7,1	1,0	14,2

гической станции; T_v — температура поверхностной воды; M — функция, рассчитываемая в зависимости от длины разгона и характеристики стратификации атмосферы, выведенная на основе решения уравнения тепло- и влагообмена с учетом основных процессов турбулентного и адвективного переноса [10], дает погрешность расчетов срочных и суточных величин в среднем на 10% выше, чем декадных и месячных величин.

Введение дополнительных параметров, учитывающих изменение характеристик турбулентного потока при переходе воздушного потока с суши на водоем [9], в некоторых случаях улучшает срочные значения, оставляя погрешность расчетов среднедекадных значений на том же уровне. Максимальные отклонения среднедекадных значений, рассчитанные по методике М. П. Тимофеева, не превышали $0,4^{\circ}\text{C}$, и эта методика была принята для расчета многолетних характеристик над водной поверхностью по данным береговых метеорологических станций.

Основной постулат — однородность температуры набегающего на водоем воздуха по всей длине береговой линии — на Арнасае не приемлем.

Водоемы Арнасайского озерного комплекса расположены на стыке климатических районов — Голодной степи и пустыни Кзылкум. Вдоль котловин оз. Айдар и оз. Тузкане, простирающихся на 160 км в западно-северо-западном направлении, перепад температуры воздуха составляет $3\text{—}4^{\circ}\text{C}$, а влажности — $4\text{—}5$ мбар, что характеризует увеличение континентальности климата с продвижением на запад. Различия в температурах воздуха, натекающего на отдельные водоемы, особенности морфометрических характеристик и термического режима приводят к необходимости отдельного пересчета температуры для каждой зоны озерного массива. Расчеты проводились отдельно для западного и восточного плёсов оз. Айдар, оз. Тузкане и Восточно-Арнасайских озер. В выделенных зонах расчеты проводились по отдельным участкам с последующим осреднением.

Исходным материалом служили карты месячных характеристик поля температуры воздуха, построенные по данным близлежащих станций, распределение температуры по отдельным водоемам [3] и повторяемость ветров различных направлений, характерных для водной поверхности.

Выполненные расчеты показали, что с возникновением водоемов распределение температуры воздуха стало более однородным, хотя тенденция возрастания континентальности климата с продвижением на запад сохранилась и над акваторией озер (табл. 5). Выравниванию распределения температуры воздуха способствовала смена подстилающих поверхностей (водная поверхность, солончаки, takyры, песчаник) более однородной водной поверхностью и особенности морфологического строения котловины озер. В частности, западный плёс оз. Айдар, расположенный в более континентальной зоне, имеет наибольшую среднюю глубину и обладает большим

теплозапасом, что в значительной степени сглаживает микроклиматические характеристики, формирующиеся над водоемом.

Абсолютная влажность воздуха над водоемом почти всегда выше, чем над прилегающей сушей. Весной, когда поверхность почвы насыщена влагой, различия во влажности воздуха минимальны, а в редкие дни, благоприятные для конденсации водяного пара на холодную водную поверхность, влажность над водоемом может быть даже чуть ниже. В летний и осенний периоды наблюдаются наибольшие различия, достигающие по среднедекадным значениям 2—4 мбар. Основные изменения влажности воздуха при переходе воздушного потока с суши на водоем (как и температуры) происходят в первых сотнях метров. В дальнейшем, с приближением значений к характерным для водоема, интенсивность трансформации затухает.

Учащенные наблюдения с интервалом 2—4 мин, выполненные при гигротермических съемках, показывают, что влажность воздуха сильно изменчива во времени, особенно в условиях значительного недосыщения, отмечаемого в прибрежной зоне. Срочные значения могут отличаться от осредненных за десятиминутный интервал на 10—20%. Этим обстоятельством наряду с большой изменчивостью влажности по акватории и общей низкой точностью измерений [8] отчасти можно объяснить слабую зависимость между данными срочных наблюдений, выполненных в различных пунктах озер. Коэффициент корреляции между данными наблюдений на береговой метеорологической станции и центром оз. Тузкане составляет 0,6—0,7 (табл. 6). Несмотря на недостаточную тесноту связи срочных значений, осредненные за пентады, декады и месяцы величины всегда показывали увеличение абсолютной влажности воздуха над водоемом.

В летний период влажность воздуха над водоемом имеет плавный суточный ход с минимумом в утренние часы и максимумом во второй половине дня. Влажность воздуха, измеренная на береговой метеорологической станции, значительно колеблется в зависимости от направления ветра — с суши на водоем или с водоема на сушу, но осредненные за месяц значения также имеют плавные суточные колебания, синхронные ходу температуры воздуха (табл. 4).

Относительная влажность еще в большей степени определяется температурой воздуха и, как правило, уменьшается с ее ростом. Над водоемом наблюдаются значительные колебания относительной влажности в зависимости от интенсивности вертикального объема. В штилевые сроки отмечается насыщение приводных слоев, достигающее 90—95%, и образование дымки, часто наблюдаемой на Арнасайских озерах в летний период.

Расчеты средней месячной влажности воздуха над различными районами Арнасайской озерной системы по наблюдениям близлежащих континентальных метеорологических станций выполнялись по формуле

$$e_v = e_c + (0,8e_0 - e_c) m, \quad (4)$$

Наблюденные и вычисленные значения влажности воздуха на береговой станции и в центре оз. Тузкане (август—сентябрь 1973 г.)

Срок наблюдения, н	Наблюденная величина					Рассчитанная величина				
	испарительный плот		метеостанция			по указаниям [11]		по Кожевникову [6]		
	$e_{\text{ср}}$	σ	$e_{\text{ср}}$	σ	r	$e_{\text{расч}}$	%	$e_{\text{расч}}$	%	по Браславскому [2]
										$e_{\text{расч}}$ %
Направление ветра с суши на водоем										
08	16,3	3,1	14,6	3,7	0,74	17,4	6,7	16,6	1,8	16,5 1,2
14	17,3	4,0	13,2	3,7	0,60	18,3	5,8	15,9	-8,1	18,3 5,8
20	19,4	5,4	13,5	4,3	0,62	17,0	-12,4	16,4	-15,5	16,8 -13,4
Направление ветра с водоема на сушу										
08	16,0	3,6	15,3	4,0	0,73					16,0 4,6
14	16,5	5,3	14,9	5,5	0,72					15,4 3,3
20	19,5	6,1	17,0	4,4	0,62					17,8 4,7

Таблица 7

Средняя многолетняя влажность (мбар) воздуха над различными районами Арнасайского озерного комплекса

Водоем	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Над водой													
Восточный Арнасай	4,5	5,3	8,1	12,1	14,1	16,6	17,6	15,7	11,8	9,1	7,2	5,2	10,6
оз. Тузкане	4,7	5,1	7,5	11,6	14,2	16,5	16,5	15,5	12,7	9,4	7,2	5,5	10,5
Восточный Айдар	4,6	5,0	7,3	11,1	13,2	16,1	16,6	15,6	13,3	9,7	7,6	5,7	10,5
Западный Айдар	4,7	5,1	7,1	11,0	12,9	15,5	16,2	14,7	12,5	9,7	7,6	5,9	10,2
Над сушей													
Восточный Арнасай	4,2	4,8	7,3	10,9	12,3	13,0	14,2	12,5	9,8	7,8	6,9	4,9	9,0
оз. Тузкане	4,3	4,9	7,2	10,4	11,1	11,5	11,4	10,5	8,5	7,2	6,7	5,1	8,2
Восточный Айдар	4,2	4,7	7,1	10,2	10,4	10,6	10,8	9,7	8,0	6,9	6,7	5,0	7,9
Западный Айдар	4,2	4,8	6,9	9,8	9,8	10,3	10,5	9,2	7,5	6,5	6,6	5,1	7,6

где e_v — влажность воздуха над водоемом; e_c — влажность, наблюдаемая на береговой метеорологической станции; e_0 — упругость насыщающих паров при температуре водной поверхности; m — коэффициент трансформации, учитывающий морфометрические и термические характеристики водоемов и состояние атмосферы [10].

Пересчет влажности воздуха над водоемом проводился по показаниям континентальных метеорологических станций, так как береговые станции находятся в зоне влияния водоема и фиксируют повышенные значения влажности воздуха. Например, использование в качестве опорной прибрежной ст. Тузкане без предварительного пересчета наблюдаемых величин к показаниям континентальной станции по методике А. П. Браславского [2] привело к завышению среднемесячной влажности воздуха на 2 мбар.

Рассчитанная средняя многолетняя влажность воздуха над акваторией восточного и западного плёсов оз. Айдар, оз. Тузкане и Восточно-Арнасайских озер показывает (табл. 7), что наименьшая влажность в летний период отмечается над западным плёсом оз. Айдар, окруженного пустыней. По мере продвижения воздушного потока над акваторией озер в восточном направлении происходит насыщение водных масс, и наибольшая влажность отмечается над акваторией оз. Тузкане.

Выводы

Метеорологический режим над водной поверхностью Арнасайских озер, расположенных в аридной зоне, существенно отличается от прилегающей суши. С возникновением водоемов изменилось преобладающее направление ветров, средняя годовая скорость ветра выросла на 0,9 м/с, влажность воздуха повысилась на 2,5 мбар, а температура — на 0,2°C.

На мелководных водоемах Арнасайского озерного комплекса происходит быстрый прогрев и выхолаживание озер, что определяет относительно небольшое влияние озер на температуру воздуха. Средние многолетние значения даже в периоды максимального изменения температур — весной и осенью — не отличаются больше чем на 1,5°C.

Наибольшие различия во влажности воздуха отмечаются в летний период, когда формируются максимальные отклонения в гидротермических характеристиках подстилающих поверхностей — воды и прилегающей пустыни. В этот период средняя месячная влажность воздуха над водоемом выше на 4—5 мбар.

На водоемах, расположенных в южных аридных областях, характерными являются большие сезонные и суточные перепады температуры и влажности подстилающих поверхностей, что влияет на стратификацию приземного и приподнятого слоя атмосферы. Поэтому лучшие результаты расчета скорости ветра, температуры и влажности воздуха над водоемом дают методы, учитывающие в явном виде влияние стратификации на интенсивность трансформации воздушного потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенштат Б. А., Балашова Е. Н., Житомирская О. М. Климатическое описание Голодной степи. — Л.: Гидрометеониздат, 1958. — 74 с.
2. Браславский А. П., Чистяева С. П. Расчет испарения с поверхности оз. Балхаш по усовершенствованной методике. — Труды КазНИГМИ, 1978, вып. 68, с. 3—45.
3. Горелкин Н. Е., Казаков А. М. Термический режим Арнасайских озер. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 59 (140), с. 32—42.
4. Зайцев А. С., Тимофеев М. П. Изменение скорости ветра под влиянием ограниченных водоемов. — Труды ГГО, 1967, вып. 206, с. 9—14.
5. Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. — М.: Наука, 1972. — 238 с.
6. Кожевников В. П. Об определении испарения с водоемов по наблюдениям на наземных и плавучих испарителях. — Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, 1976, т. 6, гидрофизика, с. 221—231.
7. Кожевников В. П. Расчет скорости ветра над водоемами с учетом температурной стратификации воздуха. — В кн.: Сб. работ по гидрологии, 1973; № 11, с. 183—193.
8. Наблюдения на гидрометеорологической сети СССР. — Л.: Гидрометеониздат, 1970. — 89 с.
9. Надеждина Е. Д. Об уточнении методики расчета метеорологических характеристик над водоемом по данным береговых метеостанций. — Труды ГГО, 1970, вып. 271, с. 70—78.
10. Тимофеев М. П. Метеорологический режим водоемов. — Л.: Гидрометеониздат, 1963. — 291 с.
11. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. — Л.: Гидрометеониздат, 1969. — 84 с.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИМАТА ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Важность изучения климата Иссык-Кульской котловины определяется большим хозяйственным и особенно рекреационным значением района и поисками причин постоянного понижения уровня озера. В ряде работ достаточно полно освещены основные его черты: тепляющее влияние озера, быстрое увеличение количества осадков с запада на восток, специфический режим ветров и т. п. [8, 13, 18, 19 и др.] В настоящей работе рассматриваются лишь некоторые статистические характеристики, и то лишь двух показателей климата — годовых сумм осадков (X) и средних годовых значений температуры воздуха ($t_{\text{ср}}$). Выбор пал в первую очередь на эти показатели потому, что они являются интегральными индикаторами климатических условий в котловине.

Прежде всего остановимся на многолетнем ходе рассматриваемых элементов. Единственной станцией, имеющей достаточно длинный ряд наблюдений (осадки — с 1891 г., температура — с 1883 г.), является Пржевальск (Каракол), поэтому мы вынуждены пользоваться только ее показаниями, хотя, как видно дальше, она не является репрезентативной для всей котловины. Вопрос об однородности рядов исходных данных весьма сложен [6, 9, 17 и др.] и в работе не освещается. Отметим лишь, что за период регулярных метеорологических наблюдений изменилась методика измерения не только осадков, но и температуры воздуха. Например, в первых российских инструкциях говорилось, что термометр можно ставить с северной стороны здания, чуть ли не у самого окна [2, 10].

Обычно, рассматривая многолетние изменения климата, исследуют два аспекта: систематическое монотонное изменение значений элементов (тренд) и периодические их колебания. Методике обработки посвящено большое число работ [6, 15, 17]. Вполне понятно, что надежность результатов значительно уменьшается с сокращением длин рядов. Работать приходится на пределе разрешения, и это часто приводит к тому, что разные авторы на основании одних и тех же данных приходят к противоположным выводам.

При выявлении линейного тренда мы пользовались простейшим вариантом метода наименьших квадратов, считая элементы ряда независимыми. Надежность результатов оценивалась по методике,

изложенной в работе [12]. Среднее значение годовой суммы осадков составило 412 мм/год, скорость изменения $0,45 \pm 0,47$ мм/год. Те же величины для среднегодовой температуры воздуха: $5,74^\circ\text{C}$ и $0,001 \pm 0,003^\circ\text{C/год}$. Таким образом, систематических линейных изменений рассматриваемых величин не имеется. Необходимо отметить, что, по нашему мнению, выявление общей тенденции какого-либо метеорологического показателя с помощью объективных методов, например методом наименьших квадратов, часто лишь создает видимость точности. Причин этому несколько: первая — оценка параметров линейного тренда выполняется в предположении нормальности распределения исходных величин относительно линейной аппроксимирующей функции. На самом же деле это во многих случаях не так [6]. Вторая — метод наименьших квадратов, как известно, чувствителен к отдельным выбросам, особенно на концах ряда. Одна-единственная экстремальная точка может заметно «повернуть» прямую.

По этим причинам часто пользуются простым «описательным» анализом хода элементов. Например, в работах [19, 21 и др.] указывается, что с 1880 г. имели место несколько периодов разной продолжительности с повышенными или пониженными значениями температуры воздуха и годовых сумм осадков.

При изучении периодических или, вернее, квазипериодических составляющих в рядах метеоэлементов была использована методика их выявления, изложенная в работах [6, 15]. Нас будут интересовать только низкочастотные составляющие, а в этом случае, чтобы избежать маскировки высотных частот под более низкие за счет дискретизации ряда, как известно, необходимо высокие частоты отфильтровать [1]. Для этой цели было применено не обычное скользящее сглаживание, наиболее широко используемое климатологами, в косинус-фильтр, который при сравнительной простоте лучше подавляет высокие частоты [11].

Сглаживание было выполнено по 11 и 25 годам. На рис. 1 а, б показаны сглаженные ряды X и $t_{\text{ср}}$. Они аналогичны приведенным и описанным в работах [13, 21]. Отметим, что сглаживание по 25 годам, хотя и значительно укорачивает ряды, дает возможность наглядно увидеть тенденции их изменения.

Для каждого из сглаженных по 11-леткам ряда была вычислена автокорреляционная функция (рис. 1 в, г). Как справедливо отмечено в работе [6], точно оценить достоверность обнаруживаемых по сглаженным рядам циклов трудно. Но в нашем случае четко обнаруживаются 32—33-летние циклы. При этом они сдвинуты по фазе один относительно другого почти на полупериод, т. е. в отрезки времени с пониженной температурой воздуха выпадает большее количество осадков. Это отмечается и в работе [13]. Коэффициент корреляции между X и $t_{\text{ср}}$ для ст. Пржевальск равен 0,326. Для осадков и температуры теплого полугодия связь еще теснее: 0,523. Вероятно, такова общая закономерность для всех горных станций. Некоторым доказательством этого могут служить приведенные в статье [5] данные об отрицательной корреляции между средними

летними значениями температуры воздуха и годовыми суммами твердых осадков.

Но вернемся к колебаниям X и $t_{\text{ср}}$ в Пржевальске. Их причина не известна и, следовательно (цитируем [15, с. 198]), «ни один из

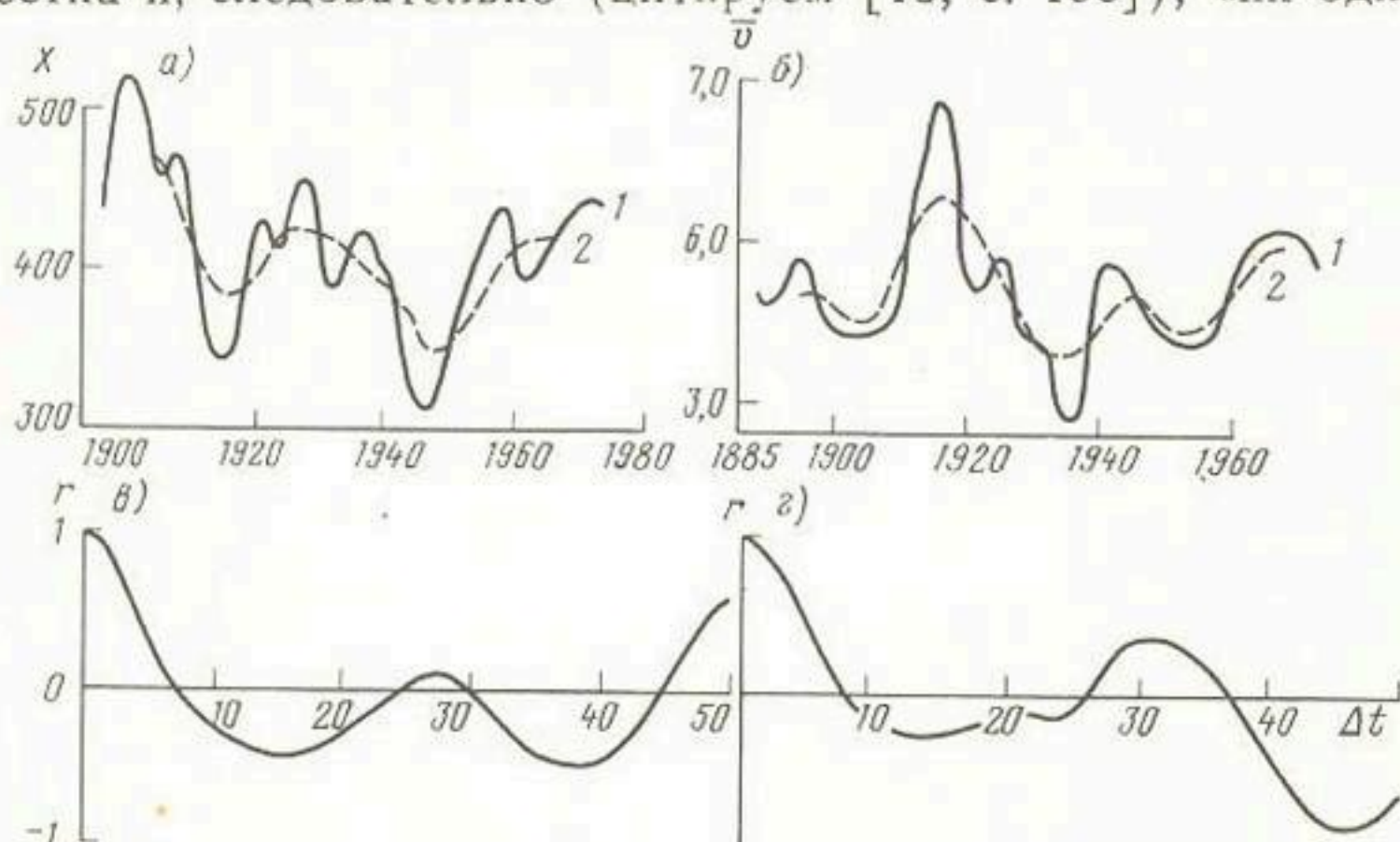


Рис. 1. Хронологический ход годовых сумм осадков (а) и среднегодовых значений температуры воздуха (б) на ст. Пржевальск, сглаженных по 11 (1) и 25 (2) годам, и автокорреляционные функции названных рядов, сглаженных по 11 годам, в — осадки, з — температура

методов изыскания периодичности или цикличности колебаний в рядах эмпирических величин не сможет дать достоверной информации о предстоящих колебаниях и изменениях их параметров до

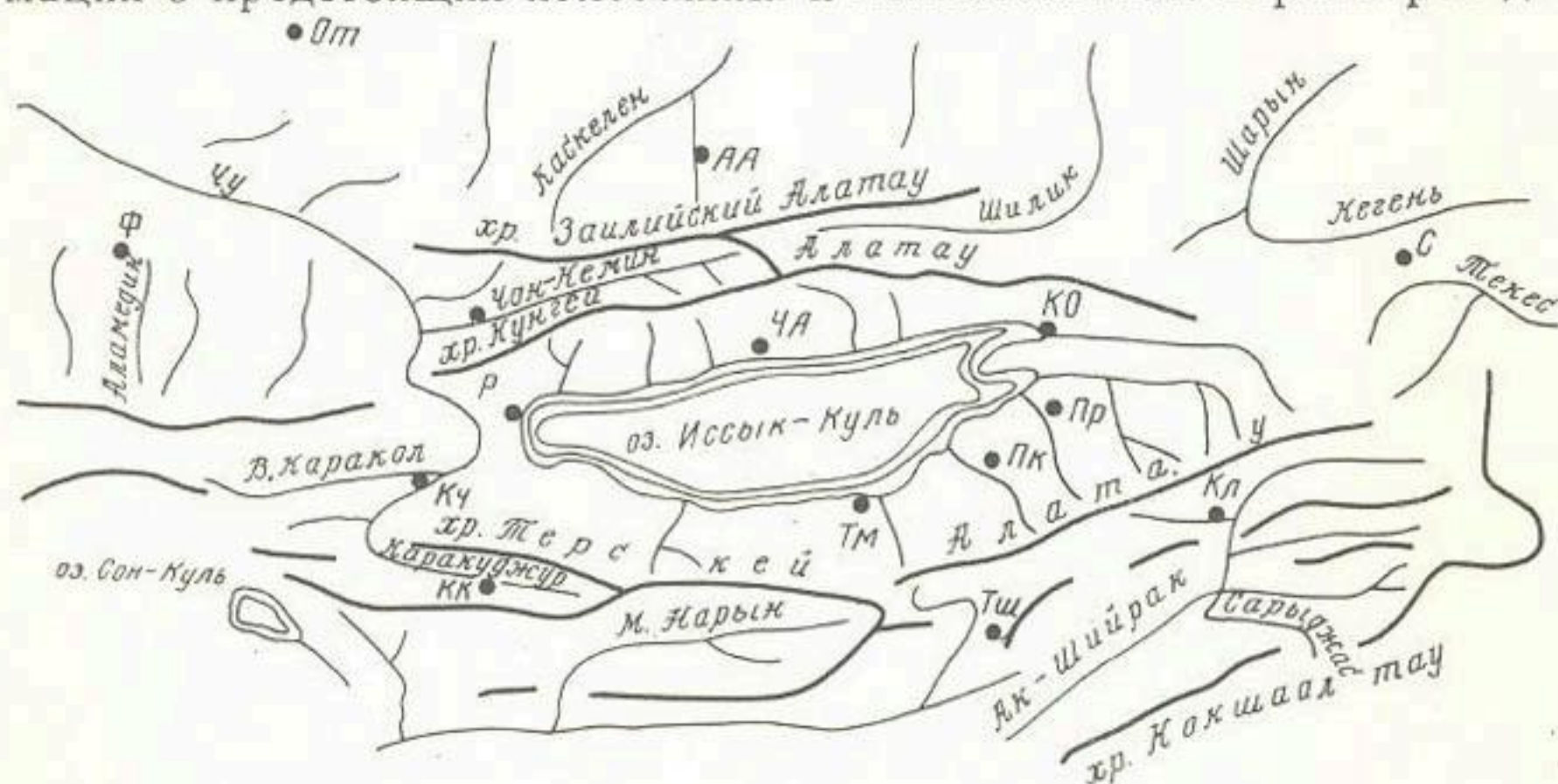


Рис. 2. Схема расположения метеорологических станций

тех пор, пока не будут вскрыты природа этих колебаний и причины их изменения». В частности, это необходимо иметь в виду при долгосрочном прогнозировании изменений уровня оз. Иссык-Куль (например, [14]).

Список станций и некоторые их характеристики

Станция	Индекс (рис. 2)	Высота, км	Число лет наблюдений		Средние многолет- ние значения		Параметры внут- реннего и годо- вого распределе- ния осадков	
			осадки, мм	темпера- тура воз- духа, °С	осадки, мм	темпера- тура воз- духа, °С	модуль	фаза
Пржевальск	<i>Пр</i>	1,72	88	96	412	5,74	0,33	193
Покровка	<i>Пк</i>	1,74	27	26	377	6,50	0,24	195
Тамга	<i>Тм</i>	1,72	39	40	252	7,49	0,43	186
Рыбачье	<i>Р</i>	1,66	43	43	119	7,20	0,66	183
Чолпон-Ата	<i>ЧА</i>	1,64	50	49	249	7,12	0,30	193
Красный Октябрь	<i>КО</i>	1,64	45	45	567	4,84	0,33	194
Фрунзе	<i>Ф</i>	0,82	43	51	400	10,19	0,24	101
Тянь-Шань	<i>ТШ</i>	3,67	48	42	305	-7,86	0,51	193
Кочкорка	<i>Кч</i>	1,81	41	41	207	4,26	0,58	172
Каракуджур	<i>Кк</i>	2,80	43	43	351	-0,65	0,50	173
Новороссийка	<i>Н</i>	1,53	28	28	455	4,71	0,40	145
Койлю	<i>Кл</i>	2,80	28	28	313	-2,00	0,60	189
Алма-Ата	<i>АА</i>	0,85	100	100	572	8,20	0,23	114
Отар	<i>От</i>	0,74	43	43	303	8,15	0,22	113
Сарыджас	<i>С</i>	1,96	28	28	411	2,24	0,31	191

Заметим, наконец, что, хотя сглаживание по 11-леткам подавляет 11-летнюю составляющую вдвое, судя по рис. 1 *в*, *г*, в рядах X и $t_{ср}$ составляющие с таким периодом совершенно отсутствуют.

Исследование статистической структуры поля осадков и температуры в Иссык-Кульской котловине и на окружающей ее территории было выполнено на материалах наблюдений всех станций в котловине и нескольких вокруг нее, имеющих хоть сколько-нибудь длительные ряды. Их положение показано на рис. 2, а некоторые характеристики приведены в табл. 1. Мы не рассматривали изменение по территории средних многолетних сумм осадков — это сделано, как уже говорилось, во многих работах. Наша задача — изучение синхронности колебаний X и $t_{ср}$ по территории — важна по двум причинам: во-первых, «группировка станций по районам синхронных колебаний дает возможность привести кривые хода температуры одно-двух реперных станций, в качестве которых выбраны станции с достаточно однородными длительными рядами наблюдений для каждого района [15, с. 50], во-вторых, статистическая структура поля осадков, например, позволяет осветить процессы их выпадения и перераспределения по территории.

Для указанной цели были рассчитаны корреляционные матрицы X и $t_{ср}$ по всем 15 станциям (табл. 2, 3), а также построена матрица расстояний между ними. Аналогичный метод применен для сходных целей в работах [3, 22]. Как и следовало ожидать, единой тесной пространственной корреляционной функции ($r(L)$), т. е. такой, в которой значения корреляции не зависят от специфических осо-

Корреляционная матрица

Индекс (рис. 2)	Станция	Индекс					
		<i>Пр</i>	<i>Пк</i>	<i>Тм</i>	<i>Р</i>	<i>ЧА</i>	<i>КО</i>
<i>Пр</i>	Пржевальск	1,000					
<i>Пк</i>	Покровка	0,772	1,000				
<i>Тм</i>	Тамга	0,448	0,314	1,000			
<i>Р</i>	Рыбачье	0,081	0,044	0,306	1,000		
<i>ЧА</i>	Чолпон-Ата	0,344	0,584	0,442	0,477	1,000	
<i>КО</i>	Красный Октябрь	0,739	0,560	0,318	0,113	0,398	1,000
<i>Ф</i>	Фрунзе	0,260	0,094	0,004	-0,107	0,122	0,569
<i>ТШ</i>	Тянь-Шань	-0,048	-0,016	0,027	0,134	0,139	-0,019
<i>Кч</i>	Кочкорка	0,462	0,369	0,333	0,379	0,520	0,430
<i>Кк</i>	Каракуджур	0,497	0,567	0,454	0,262	0,299	0,307
<i>Н</i>	Новороссийка	0,506	-0,337	-0,035	-0,105	0,314	0,551
<i>Кл</i>	Койлю	0,564	0,628	0,198	0,040	0,142	0,567
<i>АА</i>	Алма-Ата	0,406	0,284	-0,175	-0,066	0,120	0,288
<i>От</i>	Отар	0,371	0,235	0,004	0,040	0,141	0,500
<i>С</i>	Сарыджас	0,464	0,325	-0,191	0,003	0,173	0,508

Корреляционная матрица среднегодовых

Индекс (рис. 2)	Станция	Индекс					
		<i>Пр</i>	<i>Пк</i>	<i>Тм</i>	<i>Р</i>	<i>ЧА</i>	<i>КО</i>
<i>Пр</i>	Пржевальск	1,000					
<i>Пк</i>	Покровка	0,623	1,000				
<i>м</i>	Тамга	0,721	0,738	1,000			
<i>Р</i>	Рыбачье	0,897	0,743	0,662	1,000		
<i>ЧА</i>	Чолпон-Ата	0,638	0,200	0,316	0,557	1,000	
<i>КО</i>	Красный Октябрь	0,912	0,678	0,698	0,874	0,574	1,000
<i>Ф</i>	Фрунзе	0,571	0,413	0,476	0,645	0,295	0,514
<i>ТШ</i>	Тянь-Шань	-0,082	-0,262	-0,249	-0,179	-0,179	-0,314
<i>Кч</i>	Кочкорка	0,714	0,644	0,674	0,701	0,346	0,698
<i>Кк</i>	Каракуджур	0,743	0,656	0,615	0,801	0,482	0,679
<i>Н</i>	Новороссийка	0,786	0,670	0,748	0,865	0,368	0,824
<i>Кл</i>	Койлю	0,399	0,297	0,401	0,379	0,068	0,441
<i>АА</i>	Алма-Ата	0,524	0,468	0,612	0,763	0,353	0,617
<i>От</i>	Отар	0,716	0,361	0,605	0,719	0,530	0,662
<i>С</i>	Сарыджас	0,838	0,609	0,668	0,878	0,314	0,860

бенностей каждой из пар станций, для которых они рассчитаны, а определяются только расстоянием между ними, не получилось, но анализ указанных матриц, по нашему мнению, привел к очень интересным результатам.

На рис. 3 а показаны три выборки из корреляционной матрицы, т. е. три отдельные пространственные корреляционные функции.

Первая из этих зависимостей имеет «правильный» вид, но падает довольно быстро, что говорит о слабой связи между годовыми суммами осадков на станциях котловины. Например, осадки в

годовых сумм осадков

(рис. 2)

Ф	ТШ	Кч	Кк	Н	Ка	АА	От	С
1,000								
0,178	1,000							
0,156	—0,350	1,000						
—0,145	—0,355	0,679	1,000					
0,794	0,008	0,347	0,414	1,000				
0,154	0,149	0,251	0,450	0,269	1,000			
0,790	0,221	0,175	0,014	0,665	0,137	1,000		
0,713	0,080	0,189	0,043	0,699	0,097	0,611	1,000	
0,429	0,190	0,187	0,188	0,499	0,128	0,528	0,663	1,000

Таблица 3

значений температуры воздуха

(рис. 2)

Ф	ТШ	Кч	Кк	Н	Ка	АА	От	С
1,000								
—0,208	1,000							
0,356	0,008	1,000						
0,437	—0,180	0,751	1,000					
0,761	0,171	0,737	0,662	1,000				
0,030	0,386	0,600	0,427	0,582	1,000			
0,921	—0,136	0,359	0,565	0,827	0,178	1,000		
0,823	—0,257	0,448	0,567	0,828	0,305	0,942	1,000	
0,654	0,214	0,674	0,776	0,878	0,468	0,767	0,780	1,000

Пржевальске и Рыбачьем совершенно не связаны, а на расстоянии ~100 км корреляция равна всего 0,4. Все это доказывает, что данные Пржевальска — единственной станции в котловине с большим рядом наблюдений — не могут служить основой для восстановления условий увлажнения всего Прииссыккулья в конце прошлого — начале текущего веков, что иногда делается (например, [19, 22]).

Северный ряд станций тесно взаимосвязан на огромном расстоянии — до 400 км, что говорит о единстве процессов, приносящих осадки на весь северо-западный макросклон Западного и Цен-

трального Тянь-Шаня. Это подтверждается также сходством хода осадков в Джамбуле и Фрунзе [13].

Очень показателен третий график — связь осадков во Фрунзе с осадками на станциях котловины и на двух восточных станциях (Койлю и Сарыджас). Первая пара из этого разреза (Фрунзе, Новороссийка) связана очень тесно, а затем связь исчезает: осадки

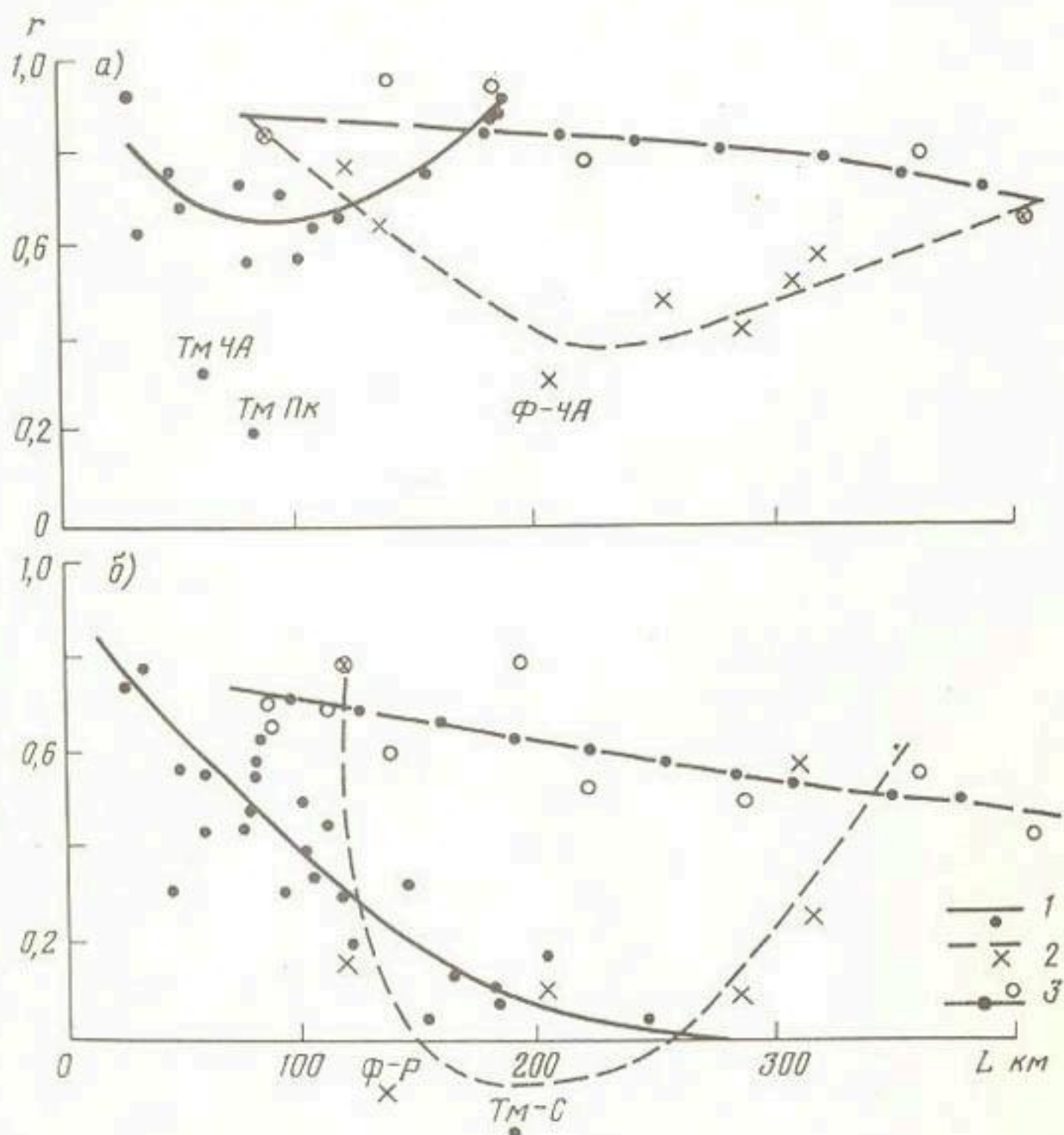


Рис. 3. Пространственные корреляционные функции годовых сумм осадков (а) и среднегодовых значений температуры воздуха (б):

1 — станций Иссык-Кульской котловины, Койлю и Сарыджас; 2 — станции по разрезу от Фрунзе до Койлю вдоль Иссык-Кульской котловины; 3 — станции к северу от хребтов Кунгей и Заилийский Алатау

в Рыбачьем и Фрунзе совершенно некоррелированы! Отсутствует зависимость и между осадками в Новороссийке и Рыбачьем, хотя расстояние между ними около 30 км. Связь вновь начинает расти по мере продвижения на восток, и далекая от Фрунзе ст. Красный Октябрь связана с ним по осадкам довольно неплохо (коэффициент корреляции $r=0,57$). Это можно объяснить только тем, что приходящие с запада влагонесущие воздушные массы дают осадки на северо-западном макросклоне горной системы, проникают в Иссык-Кульскую котловину, часто без выпадения осадков проходят над западной ее частью и вновь отдают влагу в восточной. Правда, это

было известно и ранее. Но интересно другое: формирование осадков в западном «углу» котловины преимущественно определяется каким-то другим фактором, например термическими условиями или местной конвекцией. Хотя источник влаги, скорее всего, тот же — западный перенос, но «спусковой крючок» — механизм, приводящий к выпадению этой влаги, отличен от того, который действует на западных и северо-западных макросклонах. Подчеркнем, что это различие действует постоянно: ведь мы рассматриваем годовые суммы осадков.

Отметим еще факты, обнаруживаемые при рассмотрении табл. 2:

а) все три станции, которые можно отнести к Внутреннему Тянь-Шаню (Кочкорка, Каракуджур, Тянь-Шань), не связаны по годовым суммам осадков с северными и западными станциями;

б) две станции, находящиеся к востоку от котловины, — Сарыджаз и Койлю — неплохо вписываются в общую картину Прииссык-куля.

При рассмотрении пространственных корреляционных функций среднегодовых значений температуры воздуха (рис. 3 б), как и следовало ожидать [5], теснота связи оказалась выше, чем по осадкам, т. е. t_{cp} меняется от года к году по всей территории более синхронно.

На рис. 3 б мы видим хорошую связь между среднегодовыми значениями температуры на северных станциях. Похожа по форме на аналогичную связь для осадков зависимость $r(L)$ для температуры во Фрунзе и на станциях котловины, но ее провал находится теперь на расстоянии, соответствующем середине озера (станции Чолпон-Ата, Тамга). Колебания годовых значений температуры во Фрунзе и в Рыбачьем скоррелированы весьма тесно ($r=0,645$).

Интересен вид корреляционной функции для станций котловины (Койлю из их числа исключена): провал наблюдается при $L=80—100$ км. Это означает, что температура на всех станциях плохо связана с температурой в Чолпон-Ате и Тамге. Связь же между данными станций, расположенных на концах озера (Рыбачье, Пржевальск и др.), возрастает до 0,85—0,95. По этой же причине имеется провал в связях температуры на станциях котловины с температурой во Фрунзе при $L=200—240$ км. Вероятно, указанное явление можно объяснить близким расположением станций Чолпон-Ата и Тамга к берегу озера, сильно влияющего на температурный режим прибрежной полосы суши.

Заметим, что для продления рядов среднегодовых значений температуры воздуха в Иссык-Кульской котловине (в отличие от рядов осадков) Пржевальск вполне может служить опорной станцией. Общий характер внутригодового распределения осадков достаточно полно описан в перечисленных выше работах. Но чтобы можно было проследить изменение в пространстве или картировать внутригодовое распределение, нужно выразить его в виде некоторых немногочисленных числовых показателей. В качестве одного из них может быть принят, например, номер декады с максимальной средней многолетней декадной суммой осадков [4].

Другим показателем, косвенно учитывающим осадки каждого из месяцев года, является следующий: месячные осадки, нормированные по годовой их сумме, представляются как векторы, модули которых равны полученным отношениям, а направления определяются углами, равными $\frac{2\pi i}{12}$ и отсчитываемыми от некоторого начального месяца (i — номер текущего месяца). Затем рассчитываются модуль и направление (фаза) суммы 12 таких векторов. Впервые, насколько нам известно, подобный метод был предложен для расчета средних направления и силы ветра Ламбертом в 1777 г., в первой половине прошлого века для той же цели применен М. Спасским [6], затем неоднократно использовался для расчета самых различных показателей, например, средней ориентации ледников какого-либо бассейна [7]. В отношении внутригодового распределения осадков он применен Г. Маркхэмом, а в СССР — Ц. А. Швер [20]. В работе [4] показано, что при некоторых условиях (резкая асимметричность кривой внутригодового хода осадков, наличие двух максимумов сравнимой величины) метод дает неудовлетворительные результаты. Однако в Прииссыккулье эти условия не таковы: средние многолетние месячные суммы осадков имеют одномодальные и почти симметричные распределения. Поэтому мы воспользовались указанным методом и рассчитали модули и фазы (в днях, отсчитываемых от начала года) для 15 станций, перечисленных в табл. 1. Эти величины приведены в той же таблице.

Их анализ выявляет некоторые интересные факты:

а) значения фазы увеличиваются (т. е. максимум осадков смещается к осени) с северо-запада на юго-восток, а внутри Иссык-Кульской котловины — с запада на восток. Возможные причины такого распределения рассмотрены в работе [4];

б) систематических изменений модуля (длины суммарного вектора) с запада на восток не происходит, но обнаруживается другое интересное явление;

в) на станциях, расположенных на подветренных к направлению основных влагонесущих потоков макросклонах, модуль резко возрастает. Таковы Рыбачье, Тянь-Шань, Каракуджур, Койлю. Возможным объяснением может быть то, что облачные системы зимой располагаются на более низких уровнях и с большим трудом могут переваливать через высокие хребты. Следовательно, зимой возрастает относительная доля осадков, выпадающих на наветренных макросклонах. Если приведенное объяснение верно, то в районах с зимним максимумом осадков должна наблюдаться обратная картина: на подветренных макросклонах осадки выпадают внутри года более равномерно, и значение модуля уменьшается. Но это требует проверки.

Выводы

1. Анализ сглаженных рядов среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков в г. Пржевальске показал, что, во-

первых, линейный тренд указанных элементов отсутствует, во-вторых, имеются сдвинутые почти на полупериод 32—33-летние циклические составляющие.

2. Исследования синхронности колебаний X и $t_{ср}$ для станций, расположенных в Иссык-Кульской котловине и вокруг нее, приводят к выводу, что ст. Пржевальск не является вполне репрезентативной для восстановления многолетних рядов составляющих баланса озера.

3. Температура воздуха на прибрежных станциях в значительной степени определяется не фоновыми колебаниями, а влиянием озера.

4. На станциях, расположенных на подветренных к направлению основных влагонесущих потоков макросклонов, внутригодовая неравномерность выпадения осадков резко возрастает.

5. В дальнейшем было бы полезно подвергнуть подобному анализу и другие климатические показатели, в первую очередь те, влияние которых на баланс и уровенный режим Иссык-Куля максимально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бендат Д., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. — М.: Мир, 1974. — 464 с.
2. Вильд Г. Инструкция для метеорологических станций. — СПб, 1879. — 158 с.
3. Геткер М. И. О статистической структуре полей осадков и снежного покрова в горах. — Труды САРНИГМИ, 1979, вып. 70 (151), с. 40—51.
4. Глазырин Г. Е., Аношина Н. В. Время наступления максимума осадков на территории Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 69 (150), с. 43—50.
5. Глазырин Г. Е., Фрейфельд Ю. В. Статистические характеристики основных составляющих баланса массы ледников — аккумуляции и абляции. — Труды САРНИГМИ, 1979, вып. 63 (144), с. 43—50.
6. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 158 с.
7. Камалов Б. А. Определение средней ориентации ледников. — Труды САРНИГМИ, 1967, вып. 30 (45), с. 30—32.
8. Климат Киргизской ССР. Под ред. З. А. Рязанцевой — Фрунзе: Ылым, 1965. — 291 с.
9. Коновер Д. Х. Объяснение изменений климата на основе метеорологических данных. — В кн.: Изменение климата. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958, с. 245—258.
10. Купфер А. Руководство к делению метеорологических наблюдений. — СПб, 1839. — 82 с.
11. Озмидов Р. В. Некоторые данные о крупномасштабных характеристиках поля горизонтальных компонент скорости в океане. — Изв. АН СССР. Сер. геогр. наук, 1964, № 11, с. 1708—1719.
12. Поляк И. И. Оценивание линейного тренда временных метеорологических рядов. — Труды ГГО, 1975, вып. 364, с. 51—55.
13. Пономаренко П. Н. Атмосферные осадки Киргизии. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 134 с.
14. Романовский В. В. Ход уровня озера Иссык-Куль до 2000 г. и влияние на него водохозяйственной деятельности. — В кн.: Прибрежная зона озера Иссык-Куль. Фрунзе, Ылым, 1979, с. 34—50.

15. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 268 с.
16. Спасский М. О. О климате Москвы. — М., 1847. — 270 с.
17. Физические основы климата и его измерений. Национальная программа СССР ПИГАП — климат. — М.: Гидрометеиздат, 1977. — 147 с.
18. Хейфец М. Н. Климат и особенности влагооборота в котловине. — В кн.: Озеро Иссык-Куль. — Фрунзе: Ылым, 1978, с. 78—98.
19. Хейфец М. Н. К проблеме колебаний озера Иссык-Куль в свете современных изменений климата. — В кн.: Прибрежная зона озера Иссык-Куль. — Фрунзе: Ылым, 1979, с. 5—33.
20. Швер Ц. А. Степень сезонности осадков. — Труды ГГО, 1973, вып. 303, с. 93—103.
21. Шнитников А. В. Иссык-Куль: природа, охрана и перспективы использования озера. — Фрунзе: Ылым, 1979. — 84 с.
22. Эстерле Г. Р. Статистический прогноз осадков в Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1979, вып. 73 (154). — 79 с.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАЙОНА КАТТАКУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Каттакурганское водохранилище площадью 83,6 км² расположено в долине р. Заравшан, в 12 км к югу от р. Карадарьи, в предгорьях Зерабулакской возвышенности. Основным элементом рельефа прилегающей к водохранилищу местности являются невысокие, с отметками 500—550 м холмы, вытянутые в виде гряд в северном направлении и полого спускающиеся к дну Заравшанской долины. Метеорологическая площадка расположена в 250 м от водохранилища на небольшой возвышенности с общим уклоном к западу [3].

Метеорологический режим Каттакурганского водохранилища определяется характерными для Средней Азии процессами общей циркуляции атмосферы [1, 4], на которые накладывается горно-долинная циркуляция в виде преобладающих восточных или северо-восточных ветров. Для района водохранилища характерным является: резкая континентальность и засушливость с годовой амплитудой температуры воздуха до 39°C (табл. 1). Зима неустойчива, с большими перепадами температур от года к году. Среднее число дней с морозом за год составляет 75 и колеблется в течение зимы и от года к году в пределах: 18—29 (декабрь), 21—31 (январь) и 10—29 дней (февраль). Средняя многолетняя месячная температура января составляет 0,7, других зимних месяцев 2,3—2,6°C. Зимой с северо-запада в долину возможно проникновение холодных воздушных масс, вследствие чего морозы в отдельные дни могут достигать —25÷—29°C, а средняя месячная температура января колеблется в пределах 1—6°C мороза. В аномально холодную зиму 1969 г. средняя месячная температура января составляла —6,4°C, с абсолютным минимумом —29,7°C (табл. 1). Вероятность таких зим составляет 1 раз в 50—80 лет [2]. Значительно чаще возможна положительная зимняя аномалия. Так, средняя месячная температура воздуха января 1966 г. составляла 6,0, февраля 7,7 с абсолютным максимумом 22,4°C. Такая неустойчивость зимнего режима типична для долин Средней Азии в целом.

Весна характеризуется интенсивным нарастанием температур от месяца к месяцу, в среднем на 7°C, и их высокими положительными значениями. Последние весенние заморозки в Каттакургане наступают во второй половине марта, однако нередко могут наблюдаться в первой-второй декадах апреля. Средняя многолетняя ме-

Характеристики метеорологического режима зоны Каттакурганского водохранилища
за период 1951—1977 гг.

Элемент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя месячная температура воздуха, °С	0,7	2,6	7,6	14,5	20,6	25,9	28,4	26,3	20,5	13,2	6,7	2,3	14,1
Средняя месячная и годовая амплитуда температуры воздуха, °С	9,2	9,7	10,6	11,5	13,9	15,2	15,5	16,2	17,1	16,0	12,7	9,2	39,2
Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	—29,7	—24,7	—24,4	—5,9	1,1	8,4	11,2	10,4	—0,2	—5,2	—14,1	—18,5	—29,7
Абсолютный максимум температуры воздуха, °С	22,4	24,6	30,7	34,0	38,6	42,9	43,7	43,3	38,9	33,3	28,2	21,9	43,7
Средний максимум температуры воздуха, °С	5,5	8,0	13,6	20,8	27,6	33,3	35,5	34,1	29,0	22,0	14,0	7,7	20,9
Число дней с морозом	22	16	8	0	0	0	0	0	0	2	9	18	75
Число дней со снежным покровом	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	1	4	17
Средняя высота снежного покрова, см	2	2	1								0	2	1
Абсолютная влажность воздуха, мбар	4,9	5,6	7,4	10,7	11,1	10,7	11,3	9,4	8,2	7,4	6,2	5,5	8,2
Относительная влажность воздуха, %	75	74	70	66	49	32	29	29	34	48	62	73	53
Абсолютный минимум относительной влажности, %	10	9	13	7	7	6	6	6	6	7	9	9	6
Осадки, мм	38	29	71	61	27	3	2	0	2	12	26	35	316
Число дней с осадками	14	19	17	14	7	2	1	0	2	5	8	13	102
Суточный максимум осадков	23	38	43	62	49	14	19	3	10	23	25	24	62
Средняя месячная облачность, баллы	6,0	6,1	6,5	6,0	4,0	1,8	1,1	0,7	1,1	2,8	4,4	5,9	3,9
Средняя месячная облачность нижнего яруса, баллы	3,1	2,9	3,2	2,5	1,3	0,7	0,4	0,2	0,3	0,9	1,8	3,1	1,7

сячая температура воздуха в апреле составляет $14,5^{\circ}\text{C}$ с абсолютным максимумом 34°C (табл. 1). В мае абсолютный максимум температуры достигает $38,6^{\circ}\text{C}$.

Лето в районе Каттакурганского водохранилища — наиболее продолжительный сезон года. Средняя месячная температура воздуха самого жаркого месяца — июля равна $28,4^{\circ}\text{C}$, средний максимум составляет $35,5^{\circ}\text{C}$, абсолютный максимум $43,7^{\circ}\text{C}$. Вместе с тем один раз в 5—9 лет наблюдается наиболее жаркое лето со средней месячной температурой июля 30°C и абсолютным максимумом $41—43^{\circ}\text{C}$. Таким был июль 1956 г., 1962, 1966 и 1975 гг.

В октябре начинается резкое, в среднем на 7°C в среднемесячных значениях, снижение температур воздуха. Однако первая половина осени еще достаточно теплая и засушливая. Средний максимум температуры воздуха в сентябре составляет $29,2^{\circ}\text{C}$, абсолютный максимум достигает 39°C (табл. 1). Но уже в конце октября, а в отдельные годы в конце сентября наступают первые осенние заморозки.

Для изучения термического режима водохранилища на базе специальных синхронных наблюдений за период 1975—1979 гг. рассматривалась зависимость между температурой воздуха на берегу и над водоемом. Полученная связь приведена на рисунке а и выражается уравнением

$$T_v = 0,9T_c + 2,5,$$

где T_v — температура воздуха над водоемом; T_c — температура воздуха на суше.

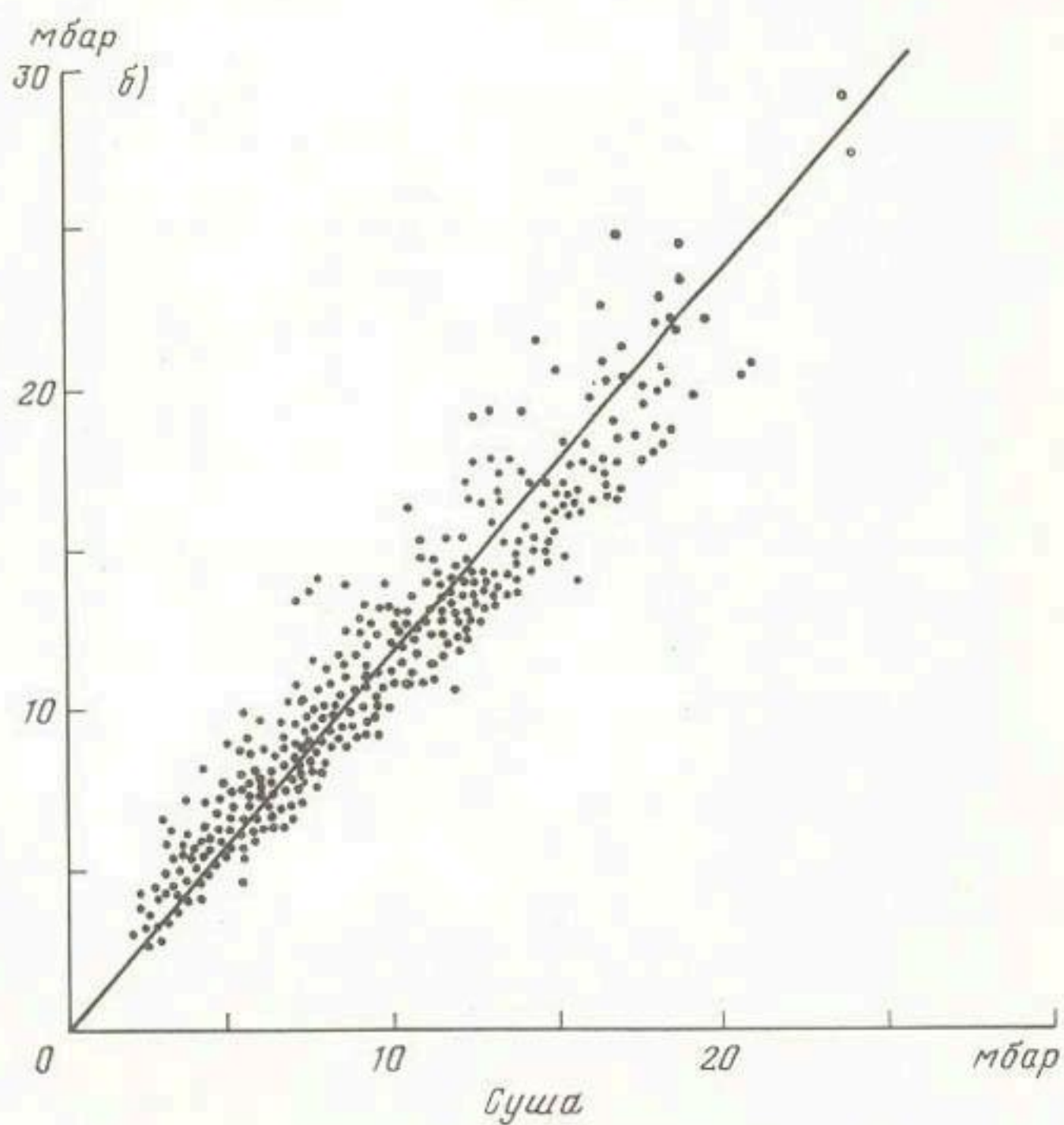
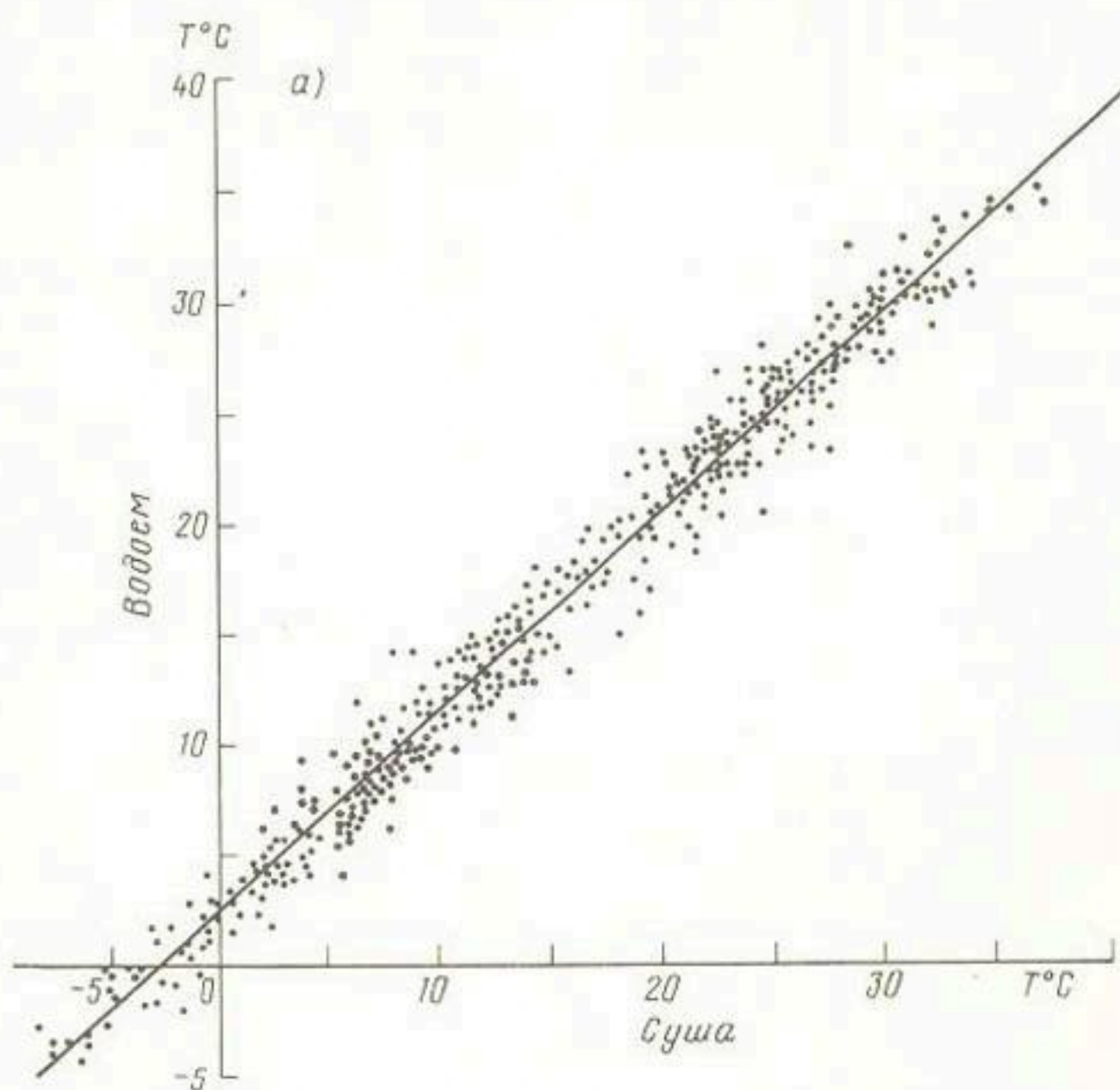
Режим влажности воздуха в районе Каттакурганского водохранилища определяется близостью Кызылкумов. Годовой ход абсолютной влажности повторяет годовой ход температуры воздуха. Зимой абсолютная влажность составляет $4,9—5,6$ мбар (табл. 1). Весной в соответствии с ростом температуры абсолютная влажность повышается в среднемесячных значениях на $2—3$ мбар. С наступлением лета рост влажности прекращается: при высоких температурах воздуха и почти полном отсутствии осадков ее значения от месяца к месяцу почти не меняются и составляют $9—11$ мбар (табл. 1).

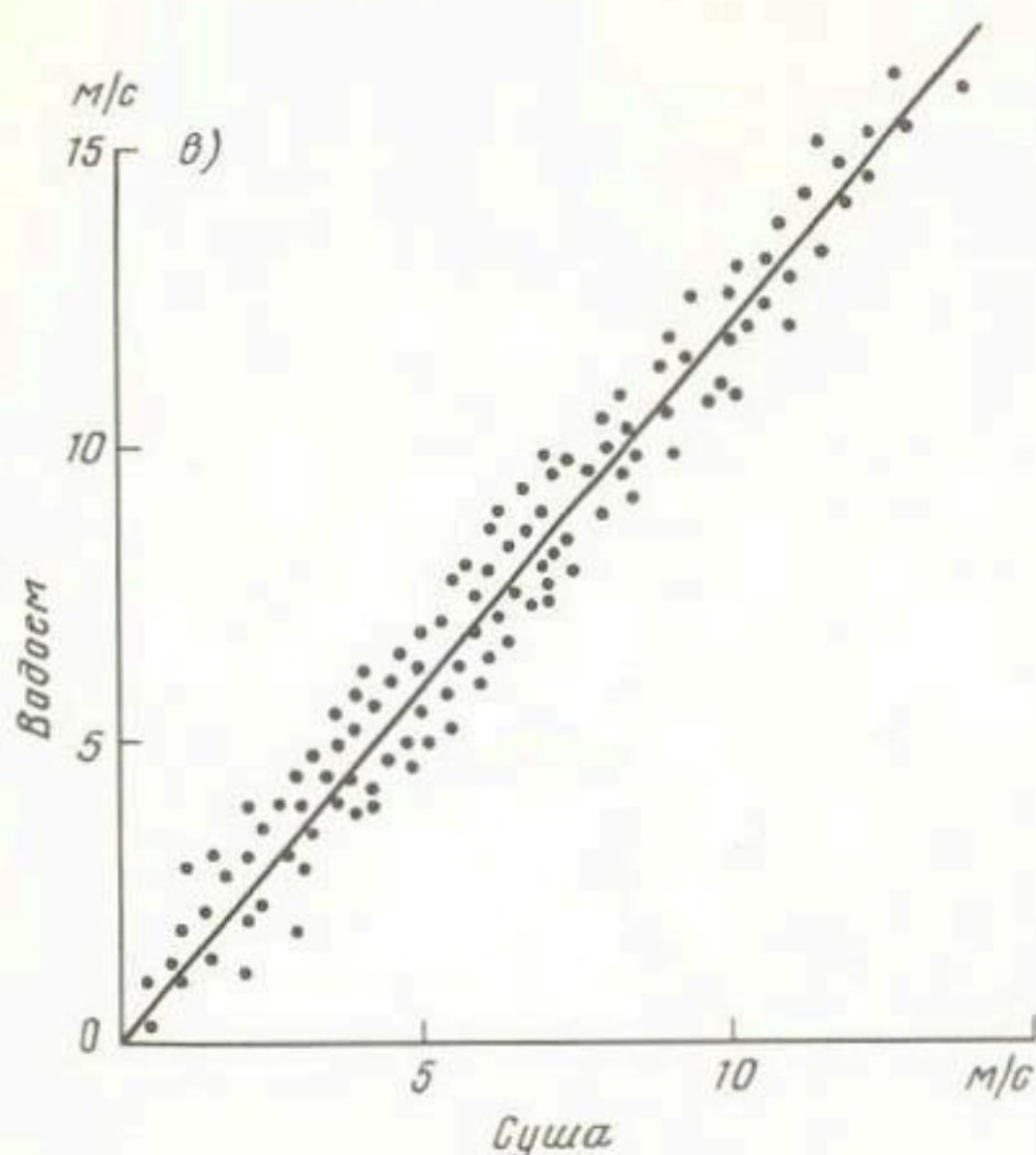
Связь между абсолютной влажностью воздуха на суше и над водоемом по данным синхронных наблюдений за период 1975—1979 гг. приведена на рисунке б. Связь описывается уравнением

$$E_v = 1,19E_c - 0,2,$$

где E_v — абсолютная влажность воздуха над водоемом, E_c — абсолютная влажность воздуха на суше.

В противоположность абсолютной влажности дефицит влажности воздуха в летний период достигает максимума $25—30$ мбар. В годовом ходе относительной влажности наибольшая ($73—75\%$) приходится на зимние месяцы (табл. 1), когда повторяемость дней с относительной влажностью $\geq 80\%$ составляет $8—9$ дней в месяц.





Связь метеозаэлементов над сушей и водоемом в зоне Катта-
курганского водохранилища:

а — температура воздуха, *б* — абсолютная влажность воздуха, *в* —
скорость ветра

Наименьшие средние месячные значения относительной влажности воздуха (29—32%) наблюдаются летом, когда особенно четко прослеживается влияние Кызылкумов. Несмотря на береговое расположение метеоплощадки, абсолютный минимум относительной влажности летних месяцев составляет всего лишь 6% (табл. 1).

Облачность в Каттакургане носит хорошо выраженный сезонный характер от теплого периода к холодному и достигает максимума в весенние месяцы. В среднем за месяц общая облачность колеблется в течение года от 0,7 в августе до 6,5 баллов в марте (табл. 1). Облачность нижнего яруса невелика: от 0,2—0,4 балла летом до 3,2 балла весной.

По режиму осадков район Каттакурганского водохранилища характеризуется малым увлажнением. Осадков выпадает 316 мм в год. В годовом ходе их максимум приходится на март и составляет 71 мм (табл. 1). В летние месяцы количество осадков ничтожно мало и нарастание их начинается лишь осенью, постепенно увеличиваясь к зиме до 35—39 мм в месяц. Многолетний суточный максимум осадков приходится на апрель за счет весенних ливней, связанных с процессами интенсивного испарения, и составляет 62 мм (1960 г.). Однако наибольшим числом дней с осадками выделяется февраль, что связано с особенностями зимней циркуляции атмосферы, при которой в эту часть года над Средней Азией усиливается циклоническая деятельность, сопровождающаяся пасмурной погодой и выпадением небольших по интенсивности дождей [1].

Снежный покров носит крайне неустойчивый характер. Среднее число дней со снежным покровом составляет от 1 до 6 сут в месяц при годовой многолетней норме от 17 до 26 сут (табл. 1). Средние декадные высоты снежного покрова не превышают здесь 0—2 см. Средняя наибольшая высота снежного покрова составляет в районе водохранилища всего 6 см. Максимальная из наибольших декадных высот снежного покрова наблюдалась аномально холодной и снежной зимой 1968/69 г. и составляла в феврале 1969 г. 33 см. Установление и сход снежного покрова весьма нестабильны во времени, если учесть, что устойчивый снежный покров наблюдается менее чем в 50% случаев зимой. Средняя дата установления снежного покрова 10 декабря, самая ранняя — 19 октября, самая поздняя — 27 января. Средняя дата схода снежного покрова приходится на 25 февраля, ранняя — на 1 января, а поздняя — на 31 марта. Неустойчивость снежного покрова на большей части равнин Средней Азии связана с частым прохождением над ее территорией циклонов и возникновением оттепелей, вследствие чего снежный покров быстро разрушается [1].

Ветровой режим в районе Каттакурганского водохранилища определяют барический рельеф и характерные для Средней Азии синоптические процессы. В годовом ходе преобладают направления ветра восточной четверти горизонта, соответствующие направлению барических градиентов [1]. Зимой район водохранилища находится в сфере юго-западной периферии зимнего азиатского максимума, когда здесь устанавливается самое высокое в году среднемесячное атмосферное давление — до 963 мбар (табл. 2) и преобладают восточные и северо-восточные ветры. Летом абсолютное давление резко падает до 947 мбар в июле, и преобладающие северо-восточные направления ветра (табл. 3) также соответствуют направлению барических градиентов. В годовом ходе средние месячные скорости ветра довольно стабильны и колеблются от 2,8 до 4,4 м/с (табл. 2). Средняя годовая скорость ветра составляет 3,5 м/с. В районе Каттакурганского водохранилища преобладающими, до 73—78%, являются ветры небольших скоростей от 0 до 5 м/с. Повторяемость последующих градаций пропорционально убывает, ветры ≥ 15 м/с здесь очень редки и составляют в среднем многолетнем значении от 0,8 до 1,9 дня в месяц.

Связь между скоростью ветра на берегу и над водоемом по данным синхронных наблюдений за 1975—1979 гг. иллюстрирует зависимость на рисунке в, которая выражается уравнением

$$V_v = 1,23 V_c - 0,05,$$

где V_v — скорость ветра над водоемом, V_c — скорость ветра на суше.

Максимальные скорости ветра, наблюдавшиеся за период 1951—1977 гг. на Каттакурганском водохранилище, составляли от

Таблица 2

Характеристики атмосферного давления и ветра по ст. Каттакурганское водохранилище
за период 1951—1977 гг.

Элемент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Атмосферное давление, мбар	962,0	960,7	959,0	956,4	953,7	949,8	947,0	949,2	954,5	960,5	963,0	963,0	956,6
Скорость ветра, м/с	3,3	3,6	3,9	3,7	3,4	3,9	4,1	4,4	3,5	2,8	2,8	3,0	3,5
Число дней с сильным ветром, 15 м/с	1,0	1,4	1,7	1,9	1,8	1,2	0,9	1,5	1,0	0,5	0,9	0,8	1,4
Средний многолетний месячный максимум скорости ветра, м/с	24	30	28	32	40	24	20	21	20	29	21	24	40

Таблица 3

Повторяемость направлений (%) и средняя скорость ветра (м/с) по румбам на ст. Каттакурганское водохранилище
за период 1951—1977 гг.

Повторяе- мость	С	СВ		В		ЮВ		Ю		ЮЗ		З		СЗ		Шталь
		Повторяе- мость	Скорость	Повторяе- мость	Скорость	Повторяе- мость	Скорость	Повторяе- мость	Скорость	Повторяе- мость	Скорость	Повторяе- мость	Скорость	Повторяе- мость	Скорость	
3	1,5	20	4,1	35	4,0	8	2,4	9	3,8	12	4,6	6	3,4	7	2,5	15
14	3,0	34	5,1	26	5,2	2	2,1	2	1,5	3	2,6	5	3,0	14	2,8	6
7	2,4	24	4,6	31	4,2	6	2,2	8	2,9	9	3,8	6	3,1	9	2,9	10

20 до 32 м/с с абсолютным весенним максимумом до 40 м/с (табл. 2).

Проанализировав основные характеристики метеорологического режима Каттакурганского водохранилища, следует отметить, что в районе водохранилища наблюдается достаточно тесная связь между основными метеоэлементами над сушей и водной поверхностью. Это позволяет использовать данные наблюдений на метеостанции, приведенные к открытой области водохранилища, при расчетах гидрометеорологических характеристик режима водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашова Е. Н., Житомирская О. М., Семенова О. А. Климатическое описание республик Средней Азии. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 241 с.
2. Бюллетень Ташкентского бюро погоды, 1969, № 3, Ташкент. — 13 с.
3. Климатический справочник СССР, вып. 19. История и физико-географическое описание метеорологических станций и постов. — Ташкент, 1965. — 184 с.
4. Синоптические процессы Средней Азии / В. А. Бугаев, В. А. Джорджо, Е. М. Козик и др. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. — 464 с.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАВНИННЫХ ОЗЕР СРЕДНЕЙ АЗИИ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМОФОТОСНИМКОВ

В связи с возросшим за последнее двадцатилетие водозабором воды на орошение гидрографическая сеть Средней Азии претерпевает существенное изменение, и в первую очередь это относится к районам наиболее интенсивного развития орошаемого земледелия. На процессы общего сокращения стока и его зарегулированность накладывается ряд мелиоративных мероприятий по осушению проток и рукавов дельт, отведению и аккумуляции сбросных и коллекторно-дренажных вод, а также изменение базиса эрозии русла основных рек — Амударьи и Сырдарьи в связи с падением уровня Аральского моря.

Действие вышеперечисленных факторов оказывает первостепенное влияние на динамику естественных озер равнинной территории Средней Азии. Равнинные озера приурочены к поймам и устьевым участкам рек и представлены следующими генетическими типами: старицами, пойменными, внутридельтовыми, конечными. Они весьма чувствительны к изменениям, происходящим на водосборах питающих их рек.

В связи с зарегулированностью и изъятием стока происхождение пиков половодья — явление весьма редкое в среднем и нижнем течении р. Сырдарьи и дельте р. Амударьи. Сопоставление материалов об изъятии стока и его зарегулированности за различные периоды (двадцатые—семидесятые годы) указывает, что в настоящее время озера лишены своего основного источника питания — разливов при прохождении половодья [4].

В связи с этим наблюдается массовое усыхание озер и озерных массивов в дельте р. Амударьи, а также в пойме и дельте р. Сырдарьи. Не последнюю роль в осушении озер дельт сыграло падение уровня Аральского моря, в связи с чем был полностью осушен передний их край [3].

В то же время весьма существенное влияние на динамику озер оказывают мероприятия по строительству ирригационно-коллекторной сети и концентрации вод малых озер и разливов в более значительные водоемы [2]. В этой связи наряду с осушением наблюдается образование новых ирригационно-сбросовых озер по периферии зон орошения. Из разряда старичных перешли в ирригационно-сбросовые озера Дальверзинской ирригационной системы,

в противном случае они бы пересохли. Озера Хорезма были осушены на площади 600 км² в результате создания коллекторов Озерный и Дарьялык и отведения воды в Сарыкамышскую впадину.

В 1969 г. при прохождении катастрофического половодья в бассейне р. Сырдарьи Арнасайское понижение было использовано в качестве водоприемника при срезке пика половодья Чардаринским водохранилищем. Это привело к образованию озерной системы объемом 20 км³ и площадью зеркала 2320 км² [1], подпитывание которой в настоящее время осуществляется также коллекторно-дренажным стоком с орошаемых массивов Голодной и Джизакской степей.

В условиях резкого дефицита воды и напряженного водохозяйственного баланса весьма актуальными являются вопросы правильной оценки водных ресурсов и, в частности, их безвозвратных потерь на испарение. Определение истинных площадей водной поверхности в этой связи приобретает немаловажное значение.

Однако картографический материал недолговечен, происходит быстрое его старение, а изменения, происходящие в ландшафтных характеристиках Средней Азии, в частности в перераспределении водной поверхности различных бассейнов, происходит быстрее частоты издания карт.

В этой связи первостепенное значение приобретают снимки с космических кораблей и орбитальных станций. Полученный по ним картографический материал позволяет достаточно четко фиксировать изменения, происходящие в ландшафтах равнин Средней Азии. Привлечение дистанционных космических методов открывает принципиально новые возможности при изучении динамики озер и водохранилищ. Космические методы дают возможность получать важную информацию о водных объектах благодаря своей генерализации, интегральному охвату огромных территорий, высокой информативности и разрешающей способности, ускоренным срокам проведения исследований по сравнению с традиционными методами.

Степень дешифрируемости больших водоемов на мелкомасштабных многозональных космических снимках равнозначна. Водные поверхности отличаются характерным спадом коэффициента спектральной яркости по мере увеличения длины волны спектра (от синего до красного). С увеличением длины волны фототон водных поверхностей больших водоемов изменяется от темно-серого до черного. В то же время заметно снижение контрастности рельефа, что затрудняет дешифрирование гидросети. Мелководья лучше дешифрируются в синей и зеленой частях спектра. Наиболее информативными при изучении крупных водоемов оказались космофотоснимки в оранжевой и красной частях спектра.

Для Чардаринского водохранилища характерно постепенное осветление фототона на космофотоснимках в направлении от плотины к верхней зоне водохранилища, что связано с увеличением мутности воды. На снимках довольно четко выделяются зоны, в которых происходит с различной интенсивностью заиление водохранилища.

Некоторое осветление фототона наблюдается у берегов озер Айдар и Тузкан, где имеется погруженная растительность на небольших глубинах (0,5—1,5 м). По берегам оз. Тузкан отмечается белая кайма, обусловленная наличием соляной корки. Четко выделяется зона прибрежных затоплений в виде микроозер и стариц благодаря пятнистой структуре фотоизображения. В среднем 1/3 площади этих зон занята водной поверхностью.

Сопоставление снимков, выполненных в различное время, позволяет также говорить о направленности водного баланса различных озерных комплексов (Арнасай — 1972—1976 гг.; Сарыкамыш — 1973—1976 гг.), а с помощью зависимости $F=f(H)$ и $W=f(H)$ производить оценку изменения водных ресурсов озер. Исследования, проведенные в 1974—1976 гг., позволили существенно уточнить площади зеркала озер дельты р. Амударьи, поймы и дельты р. Сырдарьи, а также отдельных озерных комплексов — Арнасай, Хорезм, Сарыкамыш [3—5]. По результатам предыдущих исследований выявлено, что в связи с водохозяйственным строительством площади естественных озер сократились от 1480 до 400 км² в бассейне р. Сырдарьи и от 2330 до 210 км² в бассейне р. Амударьи. В то же время проведение крупного комплекса агромелиоративных мероприятий по освоению новых земель привело к образованию новых периферийных ирригационно-сбросовых озер общей площадью до 3900 км².

По картографическим изданиям прошлых лет были получены зависимости площадей зеркала озер от водности периода, к которому относился картографический материал [3, 4]. Используя эти зависимости, можно оценить изменение площадей зеркала озер дельт рек Амударьи и Сырдарьи на перспективу. Однако уточнение площадей возможно при аэрофотосъемке или издании новых крупномасштабных карт; это весьма дорого и затруднительно при охвате столь значительных территорий. В этой связи космические снимки явились наиболее информативным и экономичным материалом для оценки динамики озер и водохранилищ на современном этапе. В первую очередь это относится к крупнейшим и быстроизменяющим свои размеры равнинным озерам Средней Азии, какими являются Арнасай, Сарыкамыш, Денгизкуль, а также к Чардаринскому, Кайраккумскому, Тюямуюнскому и ряду других равнинных водохранилищ.

Площадь зеркала равнинных озер Средней Азии по состоянию на 1974—1975 гг. оценивалась в 4717 км², а объем водных ресурсов — в 34 км³. При этом на Арнасай и Сарыкамыш приходилось соответственно 37 и 31 % суммарной площади и 37 и 45 % суммарного объема вод озер Средней Азии [5]. Тут следует отметить, что именно этим озерам присущи весьма существенные изменения водных ресурсов, особенно в последнее десятилетие. В зависимости от направленности водного баланса отмечается интенсивное наполнение оз. Сарыкамыш, Денгизкуль и постепенное понижение уровня и сокращение площади зеркала Арнасайских озер. Оценка динамики этих озер, а следовательно, и озер Средней Азии в целом (ос-

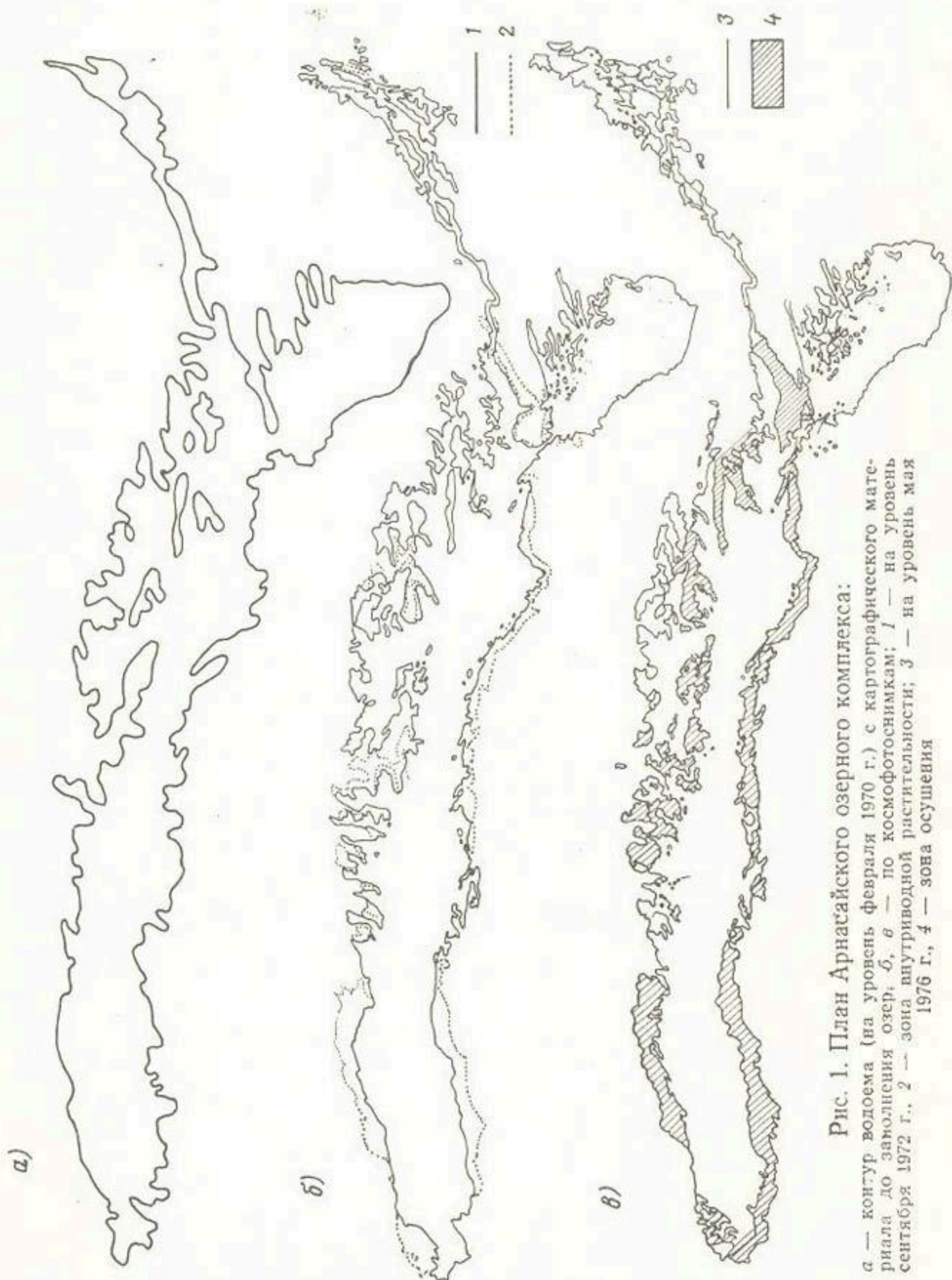


Рис. 1. План Арнасайского озерного комплекса:

а — контур водоема (на уровень февраля 1970 г.) с картографического материала до заполнения озера; б, в — по космодатаснимкам; 1 — на уровень сентября 1972 г., 2 — зона внутриводной растительности; 3 — на уровень мая 1976 г., 4 — зона осушения

тальные озера менее динамичны), стала возможной лишь с использованием космофотоснимков. По снимкам орбитальных станций Салют-4, Салют-6 и космического корабля Союз-22 были получены планы Арнасайских озер на сентябрь 1972 г. и май 1976 г., позво-

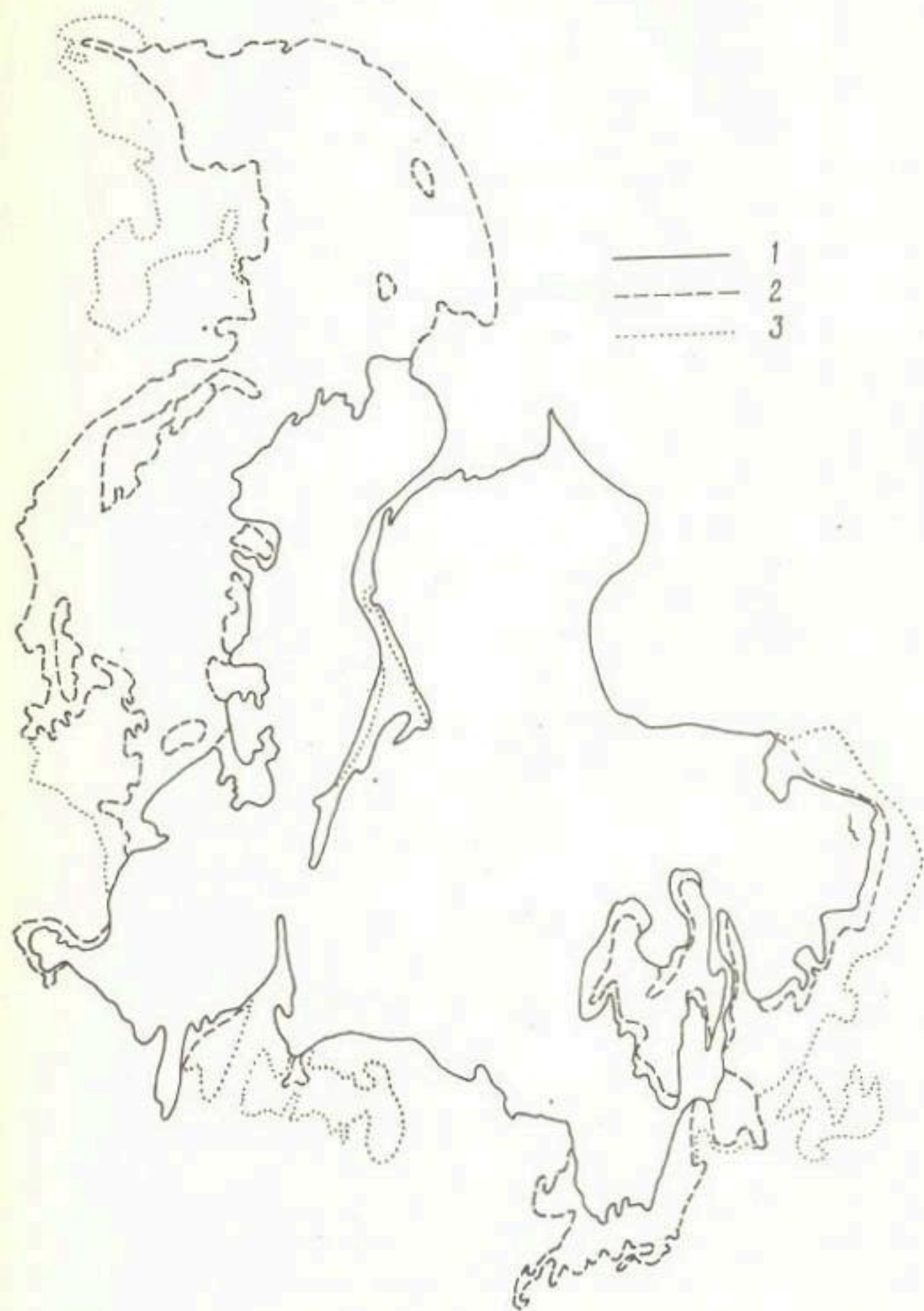


Рис. 2. План озера Сарыкамыш:
1 — 1972, 2 — 1975, 3 — 1976 гг.

ляющие существенно откорректировать зависимость площади зеркала озер от наполнения, а следовательно, и кривую объемов. По снимкам были отдешифрированы не только контуры озер и водная поверхность, но и границы максимального затопления на февраль 1970 г., а также площади, занятые малыми отшнуровавшимися озерами, являющимися зонами интенсивной садки соли, что весьма

существенно в солевом балансе озер, площади, занятые водной растительностью, что весьма важно при оценке процента транспирации от испарения с водной поверхности в целом (рис. 1).

На основании этих материалов была произведена оценка сокращения площади зеркала от 2330 до 1750 км², а водных ресурсов — от 20 до 12,5 км³.

Космофотоснимки масштаба оригинала увеличились до 1 : 500 000 и 1 : 200 000 масштаба. Выявились дешифровочные признаки для различных морфологических характеристик, такие, как фототон, структура изображения, характер и форма границ. Довольно легко и объективно была проведена береговая линия, выделены водная поверхность, зоны мелководья, острова, зоны осушения, площади, занятые водной растительностью.

Снимки Сарыкамышской впадины были сделаны с орбитальных станций Салют в августе 1973, апреле 1975 и апреле 1976 гг. На основании этих материалов удалось впервые достоверно оценить изменение площади зеркала водоема и на основании промера 1975 г. рассчитать объем водной массы. За период 1973—1976 гг. площадь зеркала возросла от 1020 км² в 1973 г. до 1600 км² в 1975 г. и 1790 км² в 1976 г. (рис. 2). Водная поверхность оз. Сарыкамыш имеет почти черный фототон и однородную структуру, а окружающая его суша — светло-серый. Некоторое осветление фототона наблюдается в заливах из-за их мелководности.

Была уточнена площадь зеркала, которая по состоянию на сентябрь 1976 г. по картам ранних лет издания (до заполнения котловины) оценивалась в 1450 км² [2]. В этой связи водные ресурсы Сарыкамыша, которые ранее оценивались в 16 км³, составили 19,7 км³.

Ресурсы озер равнинной территории (без Арнася и Сарыкамыша) с учетом усыхания и образования новых озер (на уровень 1976—1978 гг.) равны 6 км³. Водные ресурсы равнинных озер Средней Азии в целом следует оценить в 38 км³ при площади зеркала 5000 км². В дальнейшем эти показатели будут возрастать за счет роста оз. Сарыкамыш, так как процесс сокращения Арнасайских озер стабилизируется.

Проведенные исследования по оценке площадей зеркала озер показали, что представляется весьма перспективным использование космофотоснимков для корректировки зависимостей площадей зеркала и объемов от уровня воды для крупных и средних среднеазиатских водохранилищ. Расчеты заиления и транспорта наносов водохранилищ указывают на необходимость проведения один раз в 3—5 лет дорогостоящих и трудновыполнимых батиметрических съемок для построения новых зависимостей $F=f(H)$, $W=f(H)$. Набор площадей водной поверхности по космофотоснимкам при различном наполнении водохранилищ позволил бы отказаться от проведения полевых работ, существенно повысить их качество и исключить субъективизм при их выполнении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

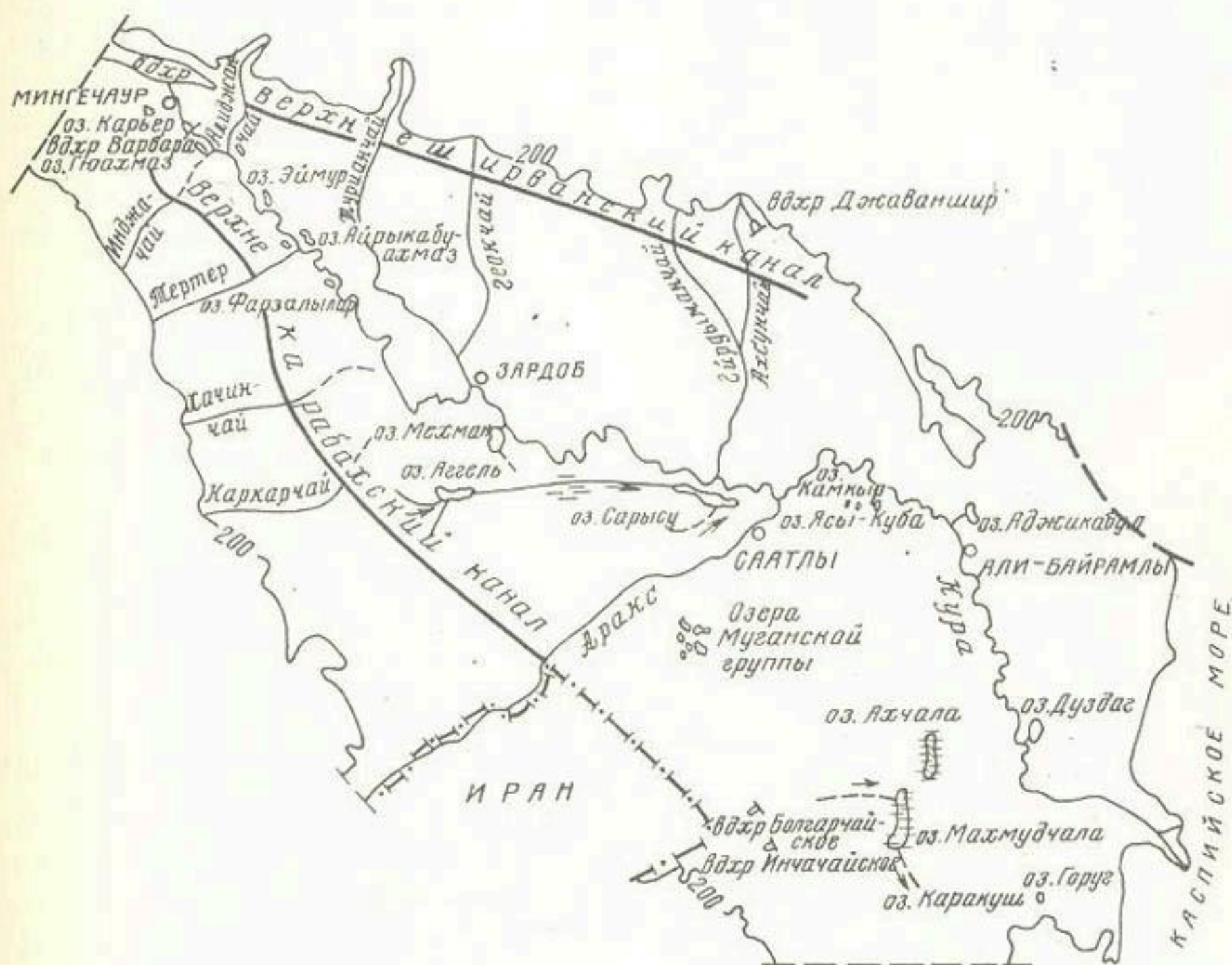
1. Горелкин Н. Е., Никитин А. М. Водный баланс Арнасайской озерной системы. — Труды САРНИГМИ, 1976, вып. 39 (120), с. 76—93.
2. Джуманиязов К. Д. Озеро Сарыкамыш. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 59 (140), с. 67—73.
3. Никитин А. М., Бондарь В. А. О динамике озер дельты р. Амударьи. — Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 25 (106), с. 79—90.
4. Никитин А. М. О динамике озер среднего и нижнего течения р. Сырдарьи. — Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 50 (131), с. 22—30.
5. Никитин А. М. Водный баланс озер Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 59 (140), с. 3—13.

МОРФОМЕТРИЯ И МОРФОЛОГИЯ ОЗЕР КУРА-АРАКСИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

В течение последних тысячелетий реки Кура и Аракс, неоднократно изменяя направление своего течения, способствовали образованию озерных котловин и впадин, при этом каждое изменение направления русла или происходящие русловые деформации являлись причиной образования новых и отмирания когда-то образовавшихся озер. Распределение озер на Кура-Араксинской низменности зависит главным образом от геологического строения и литологии пород, а также водного режима рек Куры и Аракса. На современном этапе динамика озерной сети в основном связана с хозяйственной деятельностью человека, при этом большее число озер осушено. Особенно отчетливо это наблюдается после 1953 г. в связи с регулированием стока р. Куры Мингечаурским водохранилищем.

Как правило, озера располагаются группами, основными из которых являются: а) группа озер Сарысу, находящаяся на правом берегу р. Куры выше впадения р. Аракс, объединяет четыре котловины, связанные друг с другом мелководными проливами: оз. Сарысу мал. (пересохло), Нахалыг, Халифа (Беленький) и Кривой; б) группа озер Мехман, находящаяся на правом берегу р. Куры на границе Мильской и Карабахской равнин, объединяет четыре котловины: Мехман, Мехман мал. (прсх), Дармялы (прсх) и Мелялы (прсх); в) группа озер Аггель, находящаяся на Мильской равнине, объединяет три котловины: Аггель, Аггель мал. (прсх) и Шоргель (прсх); г) группа озер Ахчала, находящаяся в южной части Муганской равнины, охватывает котловины Ахчала, Махмудчала и другие мелкие водоемы. Ныне эти водоемы находятся в стадии отмирания; д) группа озер Шильян-Карасу, находящаяся на левом берегу р. Куры на Ширванской равнине, охватывает оз. Ширванско-го Карасу, Шильян и другие мелкие водоемы с крупным конечным оз. Аджикабул. В настоящее время, кроме оз. Аджикабул, эти водоемы осушены; е) группа Муганских озер находится на правом берегу р. Аракс, на Муганской равнине. Большинство из них очень мелкие. Основное их скопление (около 20 озер) расположено между Главным Муганским и Средне-Муганским (Московским) каналами. Большинство стариц (ахмазы) находится по обеим берегам р. Куры, от нижнего бьефа Мингечаурской плотины до впадения реки в Каспийское море.

Наряду с вышеперечисленными вдоль побережья Каспийского моря и в дельтовой части р. Куры находятся одиночные озера: Якобинское (в дельте р. Куры, ныне высохло), Горуг — в северной части п-ва Куриная коса и оз. Каракуш — в северной части залива Кирова. Все озерные группировки не имеют между собой природной водной связи, кроме оз. Аггель с оз. Сарысу через протоку Бозкобу — Шербеткобу (рисунок).



Гидрографическая схема Кура-Араксинской низменности

Озера Кура-Араксинской низменности распределены крайне неравномерно и представлены водоемами малых форм. Почти 50% озер расположены на Муганской равнине. Кроме оз. Ахчала и Махмудчала, все они мелкие. На Ширванской равнине озер очень мало. Самым крупным озером этой равнины является оз. Аджикабул. Милско-Карабахские равнины богаты крупными озерами. Самые крупные озера Кура-Араксинской низменности, а также всей республики находятся именно здесь. Площадь только трех озер — Сарысу, Аггель и Мехман составляет 157 км², т. е. 83% всей площади озер низменности.

С генезисом озерных котловин тесно связаны их морфолого-морфометрические особенности и, следовательно, их водный режим. Изучение происхождения котловин, как отмечает М. А. Пер-

вухин [13], есть собственно задача геоморфологии, а не лимнологии, поскольку ванна образуется тогда, когда озера еще нет. Лимнологический процесс развития озер начинается уже при наличии готовой котловины, заполненной водой, преобразуемой ею в озерное ложе. Однако ввиду неразрывной преемственности процессов чисто геоморфологических и лимногенетических проблема генезиса ванны имеет лимнологическое значение.

Имеющиеся генетические классификации П. Ф. Домрачева [6], М. А. Первухина [13], Б. Б. Богословского [1], Ю. П. Пармузина [12], Д. Хатчинсона [16] и т. д. в основном охватывают все известные виды озерных котловин. Одной из самых детальных классификаций по генезису озерных котловин, по нашему мнению, является классификация Пармузина. Отличительной чертой этой классификации от предыдущих является то, что здесь учтены все известные генетические типы озерных котловин и классифицированы они по многоступенной таксономической единице с учетом ландшафтных особенностей территории.

Вопросу классификации озерных котловин Азербайджанской ССР или же его отдельным регионам посвящены труды Н. Ш. Ширинова [18], С. Г. Рустамова [15], М. М. Гасанова [3], Х. Д. Заманова [7, 8], В. А. Мамедова [10] и др.

Озера Кура-Араксинской низменности по классификации Пармузина подразделяются на экзогенные и антропогенные классы.

При выделении тех или иных типов озерных котловин за генетическую основу принимали только доминирующий фактор в их образовании. Руководствуясь этим принципом, все озера речного (старицы) и морского (лиманы, лагуны) происхождения мы отнесли к экзогенному классу. Котловины стариц в свою очередь разделили на две группы: современные, образовавшиеся в последнее столетие (например, озера Гюахмаз, Караоглан, Етим-Кура, Фарзалылар, Эймур, Марчала и др.), и древние, или палеостарицы, образовавшиеся в плейстоцене и голоцене в бывших руслах рек Куры и Аракса. К последним относятся озера Аджикабул, Мехман, Ангель, Сарысу, которые давно потеряли постоянную связь с рекой и существуют как самостоятельные водоемы.

К лагунным котловинам относятся озера морского происхождения — Якобин (Япон), Каракуш и озера без названия, находящиеся в северной части п-ва Куриная коса, условно названные нами Горуг. В прошлом морские заливы превратились в замкнутые водоемы. Якобин еще до 1930 г. было заливом Каспийского моря, после резкого падения уровня моря (с 1929 г.) залив постепенно превратился в замкнутый водоем. Просуществовав около двадцати лет, озеро высохло, и его котловина заполнилась песком передвигающихся дюн. Ныне никаких следов этого озера не осталось.

Котловина оз. Горуг на карте Джавадского уезда (составлена И. И. Вивьен де Шатобреном, 1869 г.) показана как залив, соединяющийся с морем через пролив Северная прорва. Впоследствии этот пролив был засыпан морскими наносами и уже в первом де-

сятилетия XX в. его место на картах показано как болото, питаемое сбросными водами. Такая же судьба постигла и оз. Каракуш.

Образование цепочки озер Ахчала-Махмудчала связано с эрозийной деятельностью р. Аракс, которая в 1868 г., а впоследствии в 1896 г. прорывала правый берег у с. Саатлы и разливалась по всей Муганской степи. После паводка 1896 г. рукав Новый Аракс образовал ряд озер (Шинчала, Абилчала, Ахчала, Махмудчала и др.), из которых оз. Ахчала (площадь зеркала более 100 км²) занимало особое место. Лишаясь особого источника питания, озера быстро высыхали, а котловина оз. Ахчала в 1925 г. превратилась в солончак [5]. В дальнейшем эта котловина использована как аккумулятор сбросных вод с орошаемых полей.

К антропогенному классу котловин следует отнести водохранилища и карьерные озера. Водохранилища Мингечаурское, Варваринское, Инчачайское и Болгарчайское являются русловыми, Джаванширское — наливным. Карьерные озера расположены на правом берегу р. Куры у г. Мингечаура, их котловины образованы в начале 50-х годов во время строительства Мингечаурской дамбы и г. Мингечаура.

В связи с осуществлением намеченных проектных разработок по превращению озер в рыбопродуктивные хозяйства ряд озер Кура-Араксинской низменности, в частности Аггель, Мехман, Сарысу и другие, в скором будущем приобретут экзогенно-антропогенный характер.

Как совокупность методов количественного выражения элементов форм и размеров котловин морфометрия имеет большое значение в исследовании лимнологических процессов. Морфолого-морфометрические особенности котловин влияют не только на распределение температуры, газового состава, минеральных и органических веществ, а также на амплитуду и характер изменения уровней и стабильность водных слоев озера. Вопросы морфометрического анализа озерных котловин освещены в работах Л. Л. Россолимо [14], Г. Ю. Верещагина [2], С. Д. Муравейского [11], С. В. Григорьева [4], В. Р. Хомскиса [17] и др. Из-за отсутствия детальных инструментальных исследований, а также частых изменений конфигурации озер, обусловленных хозяйственной деятельностью человека, имеющиеся данные в литературных и картографических источниках весьма противоречивы. Для установления современных морфометрических данных и влияния форм котловины на режим озер были получены на основе топографических съемок планы озер в изобатах, кривые зависимости площадей и объемов от уровня воды, а также поперечные профили по характерным створам.

Большинство озер Кура-Араксинской низменности отличаются небольшими размерами. Площадь более половины (68,4%) озер меньше 0,5 км² и только три озера имеют площадь более 10 км² (табл. 1). Суммарная площадь озер низменности 188 км², а коэффициент озерности 0,0068.

В отличие от площади глубины озер колеблются в небольших пределах. Большинство озер мелководные, с глубиной от 50—60 см

Таблица 1

Распределение озер по площадям зеркала

Тип озера по площади зеркала	Размер зеркала, км ²	Количество озер	Суммарная площадь, км ²	В процентах от	
				общего числа	общей площади
Озерки	<0,5	26	5,1	68,4	2,7
Весьма малые	0,5—1,0	4	3,0	10,5	1,6
Малые	1,0—5,0	4	14,6	10,5	7,8
Средние	5,0—10,0	1	8,4	2,6	5,0
Большие	10,0—50,0	1	35,0	2,6	18,6
Весьма большие	>50,0	2	121,9	5,4	64,3
Всего		38	188,0	100,0	100,0

Таблица 2

Распределение озер по наибольшей глубине

Тип озера по глубине	Наибольшая глубина, м	Количество озер	В процен- тах от общего числа
Очень мелкие	<1,0	22	57,9
Мелкие	1,0—5,0	14	36,8
Нормальные	>5,0	2	5,3

до 5 м и только на двух искусственных карьерах глубина достигает 9 м (табл. 2).

По характеру форм на Кура-Араксинской низменности можно выделить следующие типы озер:

1) сильно удлинённые озера — отношение длины к средней ширине $\frac{l}{b_{\text{ср}}}$ составляет более 7,0 (озера Сарысу, Аггель, Карьер № 1, Гюахмаз, Эймур № 1, Айрыкобуахмаз, Фарзалылар, Камкыр и многочисленные старицы на обоих берегах р. Куры); 2) удлинённые озера — $\frac{l}{b_{\text{ср}}} = 3-7$ (озера Карьер, Эймур № 3, 4, Ясы-Куба I, II, Марчала, Кечалмурадлычала, Горуг и др.); 3) овальные озера — $\frac{l}{b_{\text{ср}}} = 1,0-3,0$ (озера Мехман, без названия № 36, Карьер, Аджикабул и др.); 4) лопастные озера имеют сравнительно большую изрезанность береговой линии с многочисленными бухтами и заливами (озера Сарысу, Аггель и др.).

Большая изрезанность береговой линии и частые изменения конфигурации озер обусловлены гидрологическим режимом и геологическим строением их берегов и котловин. Основными породами, слагающими котловины этих озер, являются рыхлые аллювиальные отложения. Поскольку русло р. Куры приподнято над ок-

ружающей территорией, зеркало большинства озер во время половодья находится ниже ее уровня.

Берега (кроме оз. Аджикабул) и особенно склоны котловин пологие, глубины растут плавно. Центральная часть большинства котловин почти ровная, резких углублений и неровностей дна озер не отмечается. Для озер характерны следующие типы берегов: а) низменные берега типичны для большинства озер района. Здесь не встречаются четкие следы высоких уровней. Хорошо развита высшая водная растительность (озера Сарысу, Аггель, Ясы-Куба, Мехман, Горуг и др.); б) слабо обрывистые берега встречаются на сравнительно молодых старицах, где уровень воды находится на 1,0—3,0 м ниже окружающей территории. Такой тип озер характерен для обоих берегов р. Куры (озера Эймур, Фарзалылар, Гюахмаз, Карагалычала и др.); в) террасированные берега специфичны только для оз. Аджикабул. В северных и восточных частях этого озера встречаются береговые валы из гиттия и террасы. Высота террас доходит до 2,0—2,5 м, а самая низкая точка котловины лежит на 9,0 м ниже окружающей местности.

Берега всех озер низменности в основном сложены супесями, суглинками, глинами, а их чаши в поперечном профиле имеют широкую корытообразную форму. Количественная характеристика формы озерных котловин характеризуется «показателем емкости», вычисленным по формуле

$$C_1 = \frac{h_{\text{ср}}}{h_{\text{max}}}.$$

Этот показатель в наших условиях колеблется в пределах 0,1—1,0 с преобладанием 0,3—0,6 (табл. 3). С увеличением коэффициента показателя емкости стабильность водных слоев озера увеличивается. Значения этого коэффициента озер Кура-Араксинской низменности указывают на их малую стабильность.

Дно озер илистое, в основном состоит из мелких фракций. Толщина донных отложений современных стариц не превышает 40—50 см, а для озер Аджикабул, Сарысу и Аггель составляет 75—100 см.

Другой характеристикой морфометрии озер является коэффициент их «относительной глубины» [9]:

$$C_2 = \frac{h_{\text{ср}}}{\sqrt{f}}.$$

Коэффициент относительной глубины озер изменяется (0,05—3,0), что по шкале П. В. Иванова соответствует мелким (2,0—0,5) и очень мелким (0,5—0,1) озерам.

Характерным показателем является коэффициент открытости, определяющий меру подверженности озера внешнему воздействию и представляющий собой отношение площади водоема к средней глубине. Для большинства озер территории коэффициент открытости не превосходит 5, но на крупных озерах, таких, как Сарысу, Аггель и Аджикабул, больше 60.

Морфометрические характеристики озер

Озеро	Площадь зеркала, км ²	Площадь заросшей части, км ²	Глубина, м		Длина, км	Ширина, км		Длина береговой линии, км	Объем, км ³	Коэффициент удлиненности	$C_1 = \frac{h_{\text{ср}}}{h_{\text{max}}}$	$\frac{f_{\text{оз}}}{h_{\text{ср}}}$	$C_2 = \frac{h_{\text{ср}}}{\sqrt[3]{f_{\text{оз}}}}$	Коэффициент развития береговой линии
			$h_{\text{ср}}$	h_{max}		$b_{\text{ср}}$	b_{max}							
Карьер	4,6	0,8	4,5	9,0	3,2	1,4	1,5	10,2	20,7	2,3	0,5	1,0	2,7	0,42
Карьер № 1	0,03	0,01	5,0	9,0	0,6	0,05	0,1	1,4	0,15	12,0	0,6	0,01	16,1	2,33
Гюахмаз	0,6	0,1	1,5	2,9	2,8	0,2	0,3	5,9	0,87	14,0	0,5	0,4	1,7	1,0
Эймур	0,3	0,02	0,7	1,0	1,3	0,2	0,3	3,0	0,23	6,5	0,7	0,4	1,0	0,67
Эймур № 1	1,2	0,1	1,8	3,7	5,2	0,2	0,3	13,1	2,22	26,0	0,5	0,7	1,7	1,34
Эймур № 2	0,1		0,2	0,4	0,8	0,1	0,2	1,9	0,02	8,0	0,5	0,5	0,4	0,71
Эймур № 3	0,8	0,2	2,1	4,3	2,2	0,4	0,7	5,9	1,71	5,5	0,5	0,4	2,3	0,70
Эймур № 4	0,2		1,8	3,5	0,7	0,3	0,4	1,8	0,35	2,3	0,5	0,1	3,0	0,44
Айрыкобухмаз	0,5	0,1	1,1	2,2	3,8	0,1	0,2	7,9	0,55	38,0	0,5	0,4	1,4	1,52
Фарзалылар	0,5		1,4	2,7	3,5	0,1	0,3	7,2	0,68	35,0	0,5	0,4	1,7	1,40
Кехман	35,0		0,9	2,3	8,0	4,4	5,7	24,1	29,6	1,8	0,4	39,0	0,3	1,1
Аггель	56,2	42,2	0,8	2,2	21,0	2,7	6,0	78,2	44,7	7,8	0,4	72,0	0,2	2,9
Сарысу	65,7	44,9	0,9	3,5	22,0	3,0	6,0	90,0	59,1	7,3	0,3	73,0	0,2	3,1
Ясы-Куба I	0,2		0,4	0,7	0,9	0,2	0,3	1,9	0,07	4,6	0,5	0,6	0,6	0,59
Ясы-Куба II	0,1		0,02	0,5	0,6	0,2	0,2	1,1	0,01	3,1	0,1	5,0	0,04	0,55
Камкыр	0,3	0,02	0,9	1,9	2,0	0,2	0,2	4,0	0,28	10,0	0,5	0,3	1,4	1,03

Аджикабул	8,4	0,7	1,4	2,0	4,2	2,2	2,8	11,0	12,1	1,9	0,7	60,0	0,7	1,1
Дуздаг	4,0	0,03	0,8	1,6	5,2	0,8	1,4	14,0	3,31	6,5	0,5	5,0	0,5	0,73
Без названия	0,1		0,3	0,6	0,4	0,1	0,2	0,9	0,03	4,0	0,5	0,3	0,6	0,36
То же	0,1		0,2	0,5	0,6	0,1	0,2	1,2	0,02	6,0	0,4	0,5	0,4	0,54
»	0,2		0,2	0,5	0,9	0,2	0,4	2,1	0,05	4,5	0,4	1,0	0,3	0,57
»	0,2		0,2	0,5	0,9	0,2	0,2	2,0	0,05	4,5	0,4	1,0	0,3	0,57
»	0,1		0,2	0,4	0,6	0,1	0,2	1,3	0,02	6,0	0,5	0,5	0,4	0,54
»	0,1		0,2	0,4	0,5	0,1	0,2	1,1	0,02	5,0	0,5	0,5	0,4	0,45
Марчала	0,1		0,2	0,5	0,5	0,1	0,2	1,1	0,02	5,0	0,4	0,5	0,4	0,45
Без названия	0,1		0,3	0,6	0,4	0,1	0,2	1,0	0,03	4,0	0,5	0,3	0,6	0,36
Кечалмурад-лычала	0,3	0,01	0,5	0,9	1,1	0,3	0,6	3,2	0,14	3,7	0,6	0,6	0,8	0,57
Без названия	0,2		0,3	0,6	1,5	0,1	0,2	3,2	0,06	15,0	0,5	0,7	0,5	0,95
Қарачылычала	0,6	0,1	0,6	1,2	1,9	0,3	0,3	4,0	0,36	6,3	0,5	1,0	0,7	0,69
Без названия	0,2		0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,7	0,08	3,0	1,0	0,5	0,7	0,19
Қарагалычала	0,3	0,02	0,3	0,6	1,1	0,3	0,3	2,3	0,09	3,7	0,5	1,0	0,4	0,57
Без названия	0,1		0,3	0,6	0,8	0,1	0,2	1,7	0,03	8,0	0,5	0,3	0,6	0,71
То же	0,2		0,3	0,6	1,2	0,2	0,2	2,4	0,06	6,0	0,5	0,7	0,5	0,76
»	0,2		0,4	0,7	1,0	0,2	0,2	2,1	0,07	5,0	0,6	0,5	0,7	0,63
»	0,3		0,3	0,7	1,5	0,2	0,3	3,2	0,10	7,5	0,5	0,9	0,5	0,77
»	0,1		0,2	0,5	0,4	0,2	0,3	1,0	0,02	2,0	0,4	0,5	0,4	0,36
Горуг	4,8	0,3	0,6	1,2	4,3	1,1	2,1	13,5	2,58	3,8	0,5	8,0	0,4	1,7
Қаракуш	1,0	0,1	0,4	0,9	3,2	0,3	0,4	6,6	0,45	10,7	0,5	2,2	0,4	0,90

Объем воды в озерах, заключенных между отдельными изобатами, в зависимости от рельефа дна изменяется в больших пределах.

Расчет послойного распределения объема водной массы озер (табл. 4) дополняет и обогащает характеристику их гидрологического режима. Подсчет объема воды для большинства озер произведен по формуле усеченного конуса

$$V = \frac{1}{3} \Delta h (f_0 + f_1 + \sqrt{f_0 f_1}).$$

Таблица 4

Послойное распределение объема водных масс
и площадей зеркала озер

Озеро	$\frac{W \cdot 10^6 \text{ м}^3}{f_{0,5} \text{ км}^2}$	Показатель	% от общей площади водного зеркала						
			0,0—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5
Сарысу	59,1	10^6 м^3	28,1	16,6	7,7	3,8	1,8	0,9	0,2
	65,7	%	47,0	26,8	14,2	7,0	3,5	1,0	0,5
		км^2	17,5	27,4	10,1	5,8	2,2	1,6	1,0
		%	26,6	41,7	15,4	8,8	3,3	2,5	1,7
Аггель	44,7	10^6 м^3	22,6	11,9	6,1	4,0	0,1	—	—
	56,2	%	49,8	26,1	13,3	8,6	2,2	—	—
		км^2	21,3	20,9	4,1	4,0	5,9	—	—
		%	37,9	37,2	7,4	7,1	10,4	—	—
Аджикабул	12,1	10^6 м^3	4,1	3,7	3,3	1,0	—	—	—
	8,4	%	33,8	30,8	27,1	8,3	—	—	—
		км^2	0,7	0,7	1,0	6,0	—	—	—
		%	8,6	8,9	11,9	70,6	—	—	—
Мехман	29,6	10^6 м^3	14,6	8,2	4,2	2,2	0,4	—	—
	35,2	%	49,4	27,8	14,3	7,2	1,3	—	—
		км^2	12,6	12,1	4,2	3,9	2,4	—	—
		%	35,8	34,4	11,9	11,1	6,8	—	—
Горуг	2,6	10^6 м^3	1,82	0,68	0,08	—	—	—	—
	4,9	%	70,0	26,1	3,9	—	—	—	—
		км^2	2,5	1,9	0,5	—	—	—	—
		%	51,0	38,9	10,1	—	—	—	—
Дуздаг	3,3	10^6 м^3	1,8	1,17	0,31	0,03	—	—	—
	4,0	%	54,4	35,4	9,4	0,8	—	—	—
		км^2	0,9	1,5	1,5	0,1	—	—	—
		%	22,5	37,5	37,5	2,5	—	—	—

Расчеты показывают, что в однометровом слое заключено почти 65—75% всей водной массы озер, а в слое 0,0—0,5 м объем воды составит более чем 1/3 общего объема (кроме озер Карьер и Карьер № 1).

Большое гидробиологическое значение имеет площадь мелководья, представляющая основную кормовую базу для рыбы. В условиях Кура-Араксинской низменности к мелководьям мы относим площадь, занятую до однометровой изобаты. Анализ материалов о глубинах и площадях показывает (табл. 4), что наибольшую площадь мелководья имеют озера Мехман, Сарысу, Аггель и другие (70%). Наименьшую площадь мелководья имеют озера Аджикабул, Карьер, Карьер № 1, Дуздаг и др.

Одной из характерных особенностей озер является резкое нарастание площади их зеркала с подъемом уровня воды. Вследствие почти идеально равнинного характера рельефа при подъеме уровня воды на 1 м на озерах Сарысу, Аггель, Мехман и других затапливается территория с площадью в несколько десятков квадратных километров.

Анализируя морфометрические и морфологические характеристики озер, можно сделать следующие основные выводы:

1. В озерах Кура-Араксинской низменности заключено более 180 млн. м³ солоноватой воды.

2. Котловины озер представлены старицами, лагунами и карьерами. Для современных стариц характерны подковообразные формы, а для палеостариц — блюдцеобразные.

3. Большинство озер Кура-Араксинской низменности не имеет собственного водосбора.

4. Характерным является сильное развитие водной растительности, для отдельных случаев до 75% площади зеркала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский Б. Б. Озероведение. — М.: Изд-во МГУ, 1960. — 335 с.
2. Верещагин Г. Ю. Методы морфологической характеристики озер. — Труды Олонецкой научн. экспедиции, 1930, ч. II, вып. 1. — 114 с.
3. Гасанов М. М. К генезису горных озер Малого Кавказа (в пределах Азербайджана). — Учен. зап. АГУ, 1964, № 5, с. 57—61.
4. Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении. — Труды Карельского фил. АН СССР, 1958, вып. 18, с. 29—45.
5. Державин А. Н. Куринское рыбное хозяйство и мелиорация Мугани. — Баку: Изд-во Бакинской ихтиологической лаборатории, 1927, т. II, вып. 2, с. 29—45.
6. Домрачев П. Ф. К вопросу о классификации озер Северо-Западного края. — Петроград, 1922. — 43 с.
7. Заманов Х. Д. Водный баланс озер и водохранилищ Малого Кавказа. — Баку: ЭЛМ, 1969. — 154 с.
8. Заманов Х. Д., Таривердиев Р. Б. Гидрологические особенности озер и водохранилищ Большого Кавказа. — Баку: Изд-во АН АзССР, 1965. — 138 с.
9. Иванов П. В. Классификация озер мира по их величине и по средней глубине. — Научный бюлл. ЛГУ, 1948, № 21, с. 29—37.
10. Мамедов В. А. О генезисе котловин горных озер Азербайджана. — Изв. ВГО, 1975, т. 107, вып. 3, с. 258—261.
11. Муравейский С. Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер. — Вопросы географии, 1948, сб. 7, с. 65—99.
12. Пармузин Ю. П. Генетическая классификация озерных котловин. — В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, Наука, 1975, с. 406—414.

13. Первухин М. А. О генетической классификации озерных ванн. — Земледелие, 1937, т. XXXIX, вып. 6, с. 526—536.
14. Россолимо Л. Л. Морфометрия Косинских озер. — Труды Косинской биологической станции, 1925, вып. 2.
15. Рустамов С. Г. Гидрография. — В кн.: Геоморфология Азербайджана. Баку, Изд-во АН АзССР, 1959, с. 33—39.
16. Хатчинсон Д. Лимнология. — М.: Прогресс, 1969. — 591 с.
17. Хомскис В. Р. Динамика и термика малых озер. — Вильнюс, 1969. — 192 с.
18. Ширинов Н. Ш. К вопросу о генезисе бессточных впадин и долин Апшеронского полуострова. — ДАН АзССР, 1958, т. XIV, № 6, с. 455—458.

К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ И ГЕНЕЗИСЕ ОЗЕР ПАМИРА

На территории Памира насчитывается около 1500 озер общей площадью 680 км². В абсолютном большинстве это водоемы малых форм с площадью зеркала менее 1 км², на долю которых приходится 97,5% общего количества озер и лишь 9% суммарной площади. Наиболее крупными озерами являются: Каракуль, Сарезское, Яшилкуль, Зоркуль, Рангкуль, Шоркуль, Турумтайкуль и др. (таблица).

До семидесятых годов нашего столетия озера Парима, расположенные в наиболее труднодоступных высокогорных районах, были изучены крайне слабо, хотя издавна привлекали путешественников и исследователей. Лишь в последнее десятилетие был проведен ряд гидрографических обследований, что позволило получить и уточнить сведения о генезисе озерных котловин, их морфометрии, современном состоянии и особенностях гидрометеорологического режима.

Основное количество озер сосредоточено в бассейнах рек Пяндж и Вахш, где оно приблизительно одинаково, в то время как озерность бассейна Пянджа значительно выше и соответствует 0,42%, для Вахша — 0,07%.

Подобное распределение объясняется сосредоточением в бассейне Вахша значительного числа малых термокарстовых и гляциогенных озер как продукта развития древнего и современного оледенения, в то время как в бассейне Пянджа находится ряд крупных озер завального и сложного завально-моренного происхождения, а также реликтовые озера тектонических впадин.

Однако, как ни парадоксально, наибольшей озерностью — 5,43% характеризуются области внутреннего стока Восточного Памира, где расположены такие водоемы, как Каракуль, Рангкуль, Шоркуль [2]. Это объясняется геоморфологическим строением этой области, наличием тектонических прогибов и впадин, а также сухостью климата высокогорных пустынь, что не способствует формированию сточно-приточных озер. Общая же озерность Памира оценивается в 0,92%.

Основное количество и площади зеркала озер сосредоточены на высоте от 3500 до 4500 м (78 и 83% соответственно), что объясняется наличием благоприятных геоморфологических, геотектонических

Морфометрия озер Памира

Озеро	Бассейн реки	Высота, м	Площадь водосбора, км ²	Объем, млн. м ³	Длина, км	Площадь озера, км ²	Ширина, км		Глубина, м		Генетический тип
							средняя	наибольшая	средняя	наибольшая	
Каракуль		3914	4150	26 500	28,3	380	13,4	—	69,7	238	Тектоническое
Ранкуль	Узюкдарья	3784	1890	5,61	5,80	7,78	1,34	2,30	0,72	2,80	»
Шоркуль		3780	2416	18,5	6,90	9,75	1,41	3,20	1,90	5,00	»
Зоркуль	Памир	4125	1080	88,2	20,0	41,7	2,08	3,60	2,10	8,10	»
Карадара	Харгуш	—	25,7	0,90	0,80	0,30	0,37	0,60	3,00	5,80	Древне-моренное
Харгуш	»	—	26,7	3,00	1,90	0,80	0,42	0,64	3,70	6,60	»
Кукджигит	Мукургилюб	4262	100	3,33	2,60	3,98	1,53	2,20	0,84	2,50	Тектоническое
Чаканкуль	Караджилгасай	4127	222	2,25	8,00	2,20	0,28	2,00	1,02	3,00	»
Яшилкуль	Гунт	3734	5280	450	24,2	36,1	1,48	3,68	12,5	50,0	Завальное
Сасыккуль		3825	—	30,5	4,68	8,92	1,91	2,30	3,41	5,30	Тектоническое
Тузкуль		3798	—	1,95	2,98	1,84	0,62	1,26	1,04	1,40	»
Чукуркуль		3952	64,5	0,80	1,30	0,50	0,38	0,72	1,60	2,50	»
Булункуль	Иссыкбулак	3767	535	6,55	3,64	3,50	0,96	1,52	1,87	3,20	Тектоническое
Турум-тайкуль	Токузбулак	4213	48,7	134	6,99	9,82	1,40	—	13,6	27,2	Моренное
Кулин	Кулиндара	4280	38,8	8,27	1,82	0,68	0,37	—	12,2	26,3	»
Кулин (мал.)	»	4380	9,50	0,82	1,48	0,30	0,20	—	2,73	6,50	Древне-каровое
Варшидз	Варшидзара	4799	2,73	9,68	1,26	0,36	0,28	—	26,9	65,6	Современно-каровое
Риваккуль	Ривакдара	3803	102	11,2	2,52	1,33	0,53	—	8,42	16,3	Завальное-моренное
Немацкуль	Немацдара	4700	9,40	—	—	0,36	—	—	—	—	Древне-каровое
Зардив	Сейджара	376	48,1	—	—	0,52	—	—	—	—	Завальное
Друмкуль	Друмдара	3335	278	69,0	3,15	1,96	0,62	—	35,2	75,9	»
Сарезское	Бартанг	3252	16 200	15 850	55,3	79,4	1,44	3,38	200	496,9	»
Хавраздара	Хавраздара	3992	88,4	40,0	3,58	2,20	0,61	1,03	18,8	40,3	Завальное-моренное
Шива	Дарай-Арахт	3100	238	1598	13,9	15,0	1,10	—	106,5	250,5	»

и климатических факторов. Современный геоморфологический облик Памира сформирован под влиянием экзогенных процессов во время поднятия горной страны в эоцене, сопровождавшегося несколькими стадиями оледенения и эрозионной деятельностью водотоков.

Рассматривая котловины озер по их генезису и морфологии, на территории Памира можно выделить четыре основные группы озер: тектонические, гляциогенные, гидрогенные и завальные. Следует тут же отметить, что некоторые котловины имеют весьма сложный генезис вследствие воздействия ряда факторов и процессов на их формирование. Морфометрические характеристики озер различных генетических типов приведены в таблице.

Рельеф Западного Памира резко расчленен, характерными формами являются узкие V-образные ущелья, троговые долины, формы рельефа связаны с современным и древним оледенением — зандры, кары, стадияльные морены. Именно с наличием этих форм рельефа связано образование озерных котловин.

В зоне 3000—3500 м наибольшее распространение имеют озера завального и сложного завально-моренного происхождения. В зоне троговых долин на высотах 3500—4200 м расположены гляциогенные озера моренного генезиса, представляющие собой простые по форме неглубокие водоемы. Выше располагаются современные и древние каровые озера, котловины которых представляют собой современные кары с незаконченным формированием значительных (до 60 м глубиной) чаш, с крутосклонным рельефом и наличием зон современного оледенения или древние разрушенные и значительно заполненные моренными флювиогляциальными отложениями котловины. Плотинами озер этого типа является ригель, обусловленный выходом коренных пород.

Наибольший интерес с точки зрения образования плотин вызывают озера завально-моренного происхождения. К таким озерам относятся — Шива, Харваздара, Риваккуль в бассейне р. Пяндж, Маргузор и Азорчашма в бассейне р. Зарафшана. Особенно разноречивы были сведения об оз. Шива, расположенном в Афганском Бадахшане. Озеро в течение 100 лет неоднократно посещалось исследователями, однако материалы по происхождению плотины имели самые противоречивые сведения [3]. В 1960 г. на Шиве побывали итальянские геологи группы Дезио, а в 1966 г. — советские геологи А. А. Никонов и И. В. Архипов.

Никонов утверждал, что озеро относится к типу завальных, в то время как Дезио указывал, что плотина озера является крупной конечной мореной, и только в 1970—1975 гг. советско-афганская экспедиция внесла ясность в спорные вопросы, касающиеся генезиса озера.

Детальные исследования в 1973—1975 гг. показали, что плотина имеет трехслойное сочленение. В нижней и средней части она сложена двумя моренами различного состава, по контакту которых происходит фильтрация вод озера. Выход фильтрационных вод по

низовому откосу осуществляется в виде 40 родников, расположенных по фронту плотины на одном уровне.

Верхняя часть плотины представляет собой завал, гранулометрический состав которого характеризуется наличием большого количества крупноблочного материала. Моренное строение нижнего и среднего ярусов плотины обусловлено наличием сужения в коренных породах, через которое осуществляется сток р. Дарай-Архат.

В период наступления ледник при своем движении как бы заклинивал передний вал морены, создавая тем самым наплыв моренных гряд. Каменная «ловушка» стала местом аккумуляции моренных отложений всех периодов оледенения, максимальным из которых явилось верхнечетвертичное, которое и создало современный облик плотины.

Тектоника района, наличие разлома в створе плотины обусловили обрушение наиболее ослабленных склонов на моренную плотину в период крупных землетрясений в последние 250—300 лет.

Подобное строение плотины имеет и оз. Риваккуль, где нижняя часть плотины представлена конечной мореной, а верхняя — завалом крупнообломочного материала. Через створ плотины также проходит разлом, а формы рельефа весьма сходны с формой рельефа плотины оз. Шива.

Плотина оз. Хавраздара, имея аналогичное строение, состоит из конечной морены высотой 20 м, на которой лежит завал высотой 20—25 м. Отток воды из озера осуществляется как путем перелива, так и путем фильтрации при годовой амплитуде колебания уровня 10—12 м.

В зоне высот 2500—3500 м наибольшее распространение имеют озера завального происхождения. На стыке Западного и Восточного Памира при переходе от резких форм рельефа к плавным пологим расположены два наиболее крупных завальных озера не только Памира, но и Средней Азии — Сарезское и Яшилькуль [1]. Именно наличием этих водоемов следует объяснить «всплеск» площадей зеркала в интервале высот 3000—4000 м.

Завальные озера образуются при перегораживании долин в результате горных обвалов, оползней, конусов выноса притоков более мелкого порядка, при сходе лавин в русла рек.

Наибольшее распространение имеют озера завально-тектонического типа, повсеместно отмечающиеся в молодых складчатых структурах Памира. Наблюдаются случаи образования временных завально-оползневых и завально-снеголавинных озер, связанных с обострением обвально-оползневой деятельности и сходом лавин в долины рек. Однако подобные озера существуют непродолжительное время вследствие размыва плотин. Прорыв воды из них опасен, так как в чашах могут быть накоплены значительные объемы воды.

Сток из завальных озер происходит путем фильтрации сквозь тело завала, а также путем перелива через гребень естественных плотин. Фильтрационная способность завалов бывает настолько велика, что в отдельных случаях полный водообмен водной массы осуществляется в течение нескольких дней.

Ряд завальных озер Памира, такие, как Сарезское, Друмкуль, Зардив и ряд других, признаны прорывоопасными вследствие возможности размыва завала и спуска вод озер в долины. За подобными озерами ведутся наблюдения в период их наполнения с целью возможного предупреждения о грозящей опасности прохождения катастрофического паводка.

Рельеф Восточного Памира представляет собой выровненные высокогорные поднятия с небольшими уклонами и наличием здесь ряда крупных тектонических впадин. Зона Восточного Памира характеризуется расположением наиболее крупных озер тектонического происхождения, таких, как Караккуль, Ранкуль, Шоркуль, Сасыккуль и др. (табл. 1).

В своем большинстве эти озера приурочены к бессточным котловинам и являются гигантскими испарителями местного стока.

Группа гидрогенных озер представлена в основном малыми водоемами термокарстового происхождения, которые сосредоточены в зонах развития вечной мерзлоты на высотах свыше 3500 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кернос Г. А. Новые данные о морфологии Сарезского озера. — Труды САРНИГМИ, 1979, вып. 66 (147), с. 82—88.
2. Никитин А. М. О современном состоянии бессточных озер Восточного Памира. — Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 2 (83), с. 76—86.
3. Никонов А. А. От Амударьи до Гиндукуша. — М.: Мысль, 1970. — 87 с.

О ПРИМЕНЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ оз. ИССЫК-КУЛЬ

Методика применения динамического метода для расчета течений в пресноводных континентальных водоемах была впервые разработана Джоном Айерсом [15] и применена на оз. Гурон. Развивая идеи Айерса, А. Н. Охлопкова [6, 7] и В. А. Кротова [4] обосновали применимость динамического метода для таких глубоководных пресных озер, как Ладожское, Онежское, Байкал. С помощью динамического метода были построены схемы течений и на солоноватом оз. Иссык-Куль (средняя соленость 5,9‰). Т. В. Ротатова и Т. Н. Филатова [8], а позднее Я. С. Стависский и Т. П. Овчаренко [10], исходя из гипотезы о постоянстве минерализации по глубине и акватории, использовали для расчетов течений оз. Иссык-Куль данные ежемесячных стандартных наблюдений на термических вертикалях.

Однако, несмотря на большой опыт применения динамического метода для расчета течений в континентальных водоемах, до сих пор нет единого мнения о том, какие течения рассчитываются этим методом. Охлопкова [7], например, говорит только о плотностных течениях, рассчитываемых динамическим методом в Онежском озере. В то же время Кротова [4] течения, рассчитываемые для оз. Байкал этим же методом, называет градиентно-конвективными. У авторов нет единого мнения и о том, какими причинами обуславливаются течения, рассчитываемые динамическим методом. Охлопкова считает, что устойчивая циклоническая циркуляция в Онежском озере формируется за счет неравномерного прогревания различных по глубине районов озера, а Кротова среди причин, вызывающих течения в оз. Байкал, основной считает ветер. В некоторой степени ответ на эти дискуссионные вопросы дают наши исследования по применению динамического метода для расчета течений оз. Иссык-Куль с использованием данных специальных термических съемок.

10—12 августа 1978 г. одновременно с двух судов была проведена термическая съемка оз. Иссык-Куль. Наблюдения за температурой воды велись на 38 вертикалях, расположенных по 3—5 вертикалей на 12 поперечных разрезах. Температура воды измерялась термобатиграфом до глубины 100 м. Кроме того, через 10 мин хода судна измерялась поверхностная температура воды. На поперечни-

ках через 5 мин хода судна выпускались почтовые карточки с текстом на русском и киргизском языках, запаянные в полиэтиленовые пакеты. Такие карточки применялись для изучения течений оз. Эри [11] и на оз. Иссык-Куль [1]. Таким образом, расчетные данные о течениях, получаемые по распределению поля температуры динамическим способом, контролировались данными непосредственных измерений с помощью почтовых карточек. Следует отметить, что для контроля расчетных данных о течениях в оз. Гурон и Байкал применялась бутылочная почта [4, 15].

Метеорологическая обстановка во время начала работ характеризовалась мощным вторжением воздушных масс в Иссык-Кульскую котловину. В Рыбачьем был зарегистрирован западный ветер скоростью 7—10 м/с, продолжительностью 8 ч. В Тамге был отмечен ветер этого же направления 14 м/с. В это же время в Пржевальске был зарегистрирован северо-восточный ветер 5 м/с. В Чолпон-Ате — северный ветер 16 м/с и на ст. Красный Октябрь — восточный 4 м/с.

С судов, находившихся во время вторжения ветра у южного берега на траверзе с. Тамга и бух. Ак-Терек, наблюдался порывистый западный ветер скоростью 12—18 м/с. Волнение здесь достигало 5 баллов. 11, 12 августа ветровой режим в котловине характеризовался наличием бризовой циркуляции с ветрами днем с озера на сушу, а ночью с суши на озеро. Скорость этих ветров составляла 2—5 м/с.

Продолжительное воздействие сильных ветров различных направлений способствовало выходу на поверхность озера купола холодных вод (рис. 1 а). У южного и северного берегов нижняя граница эпилимниона, по которой можно судить о глубине ветрового перемешивания, находилась на глубинах 25—30 м. В то же время в центре озера, на вершине купола холодных вод, эпилимнион отсутствовал полностью (рис. 1 б). 10 августа на озерном посту г. Рыбачье наблюдался сгон воды с максимумом падения уровня на 11 см. После стабилизации уровня здесь отмечались сейшевые колебания уровня с периодом 1 ч 56 мин, продолжавшиеся в течение 4 ч. На прочих постах во время термосъемки сгонно-нагонные явления и сейшевые колебания уровня отмечены не были.

Обработка данных термосъемки производилась в соответствии с методикой, изложенной в работах Айерса и Бахмана [15, 16]. Температура воды снималась с батитермограмм через каждые 10 м глубины и в характерных точках. За нулевую поверхность была принята поверхность на глубине 100 м, на которой горизонтальная термическая и плотностная неоднородность отсутствовали. Станции с глубинами меньше 50 м из расчетов были исключены, так как замена большей части водных колонок данными соседних станций может вызвать существенные погрешности.

В оз. Иссык-Куль, отличающемся однообразием в распределении солености по акватории и глубине, основным фактором, определяющим плотностную неоднородность, является температура воды. В связи с этим нами были составлены необходимые для расче-

тов таблицы плотности и удельных объемов иссыкульской воды при средней солености 5,9‰ и температурах 0—25°C. Основой для составления таблиц послужило определение плотности воды оз. Иссык-Куль при температуре 20°C, выведенное В. К. Кадыровым и Н. Г. Данилиной [3] как среднее из 122 определений по всей акватории озера. Таблицы были составлены исходя из предположения о том, что разница в плотности между иссыкульской и каспий-

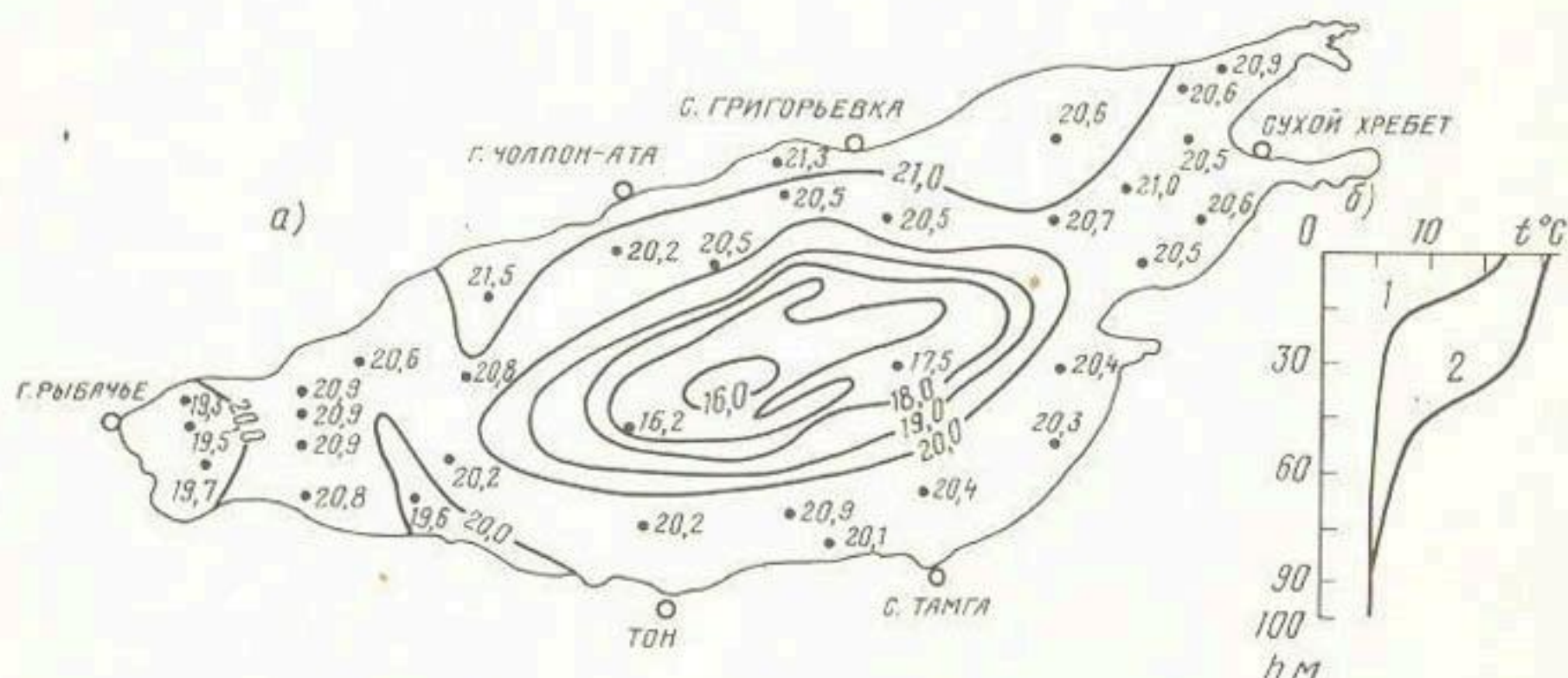


Рис. 1. Распределение температуры воды 10—12 августа 1978 г.:
а — поверхностное, б — по глубине; 1 — в центральной части озера, 2 — у южного побережья

ской водой при температуре 20°C и солености 5,9‰ остается постоянной в диапазоне температур от 0 до 25°C. Поводом для такого предположения могут служить данные А. В. Трофимова [5], согласно которым абсолютное отклонение плотности воды Каспийского моря от плотности океанской воды мало изменяется под влиянием температур в пределах от 0 до 25°C. С помощью составленных нами таблиц и коэффициентов сжимаемости воды [15] были рассчитаны динамические высоты и построен динамический рельеф поверхности озера. На рис. 1 хорошо прослеживается циклоническая циркуляция, охватывающая центральную часть озера. В центре циклонического вихря, вытянутого вдоль оси озера, поверхностные течения характеризуются малыми скоростями (3—10 см/с). Максимальные скорости течения (35—50 см/с) наблюдаются вдоль северного и южного берегов на удалении 5—20 км от берега. Интенсификация скоростей течения отмечается также на востоке у п-ва Кара-Булун.

Так как нестационарность атмосферных воздействий не способствует непрерывному существованию одной схемы течений, к обработке были приняты карточки, время дрейфа которых не превышало 20 сут, а длина дрейфа — один круг. Таких карточек оказалось 52 шт., т. е. 10% числа выпущенных во время термосъемки (500 шт.).

Следует отметить, что расчетный динамический метод и метод непосредственных измерений с помощью почтовых карточек хоро-

шо дополняют друг друга. На рис. 2 карточки дают представление о течениях в прибрежной мелководной зоне озера, где динамический метод неприменим. В то же время в центре циклонического вихря, где маршруты движения карточек настолько сложны, что восстановить их невозможно, данные о течениях получены динамическим методом.

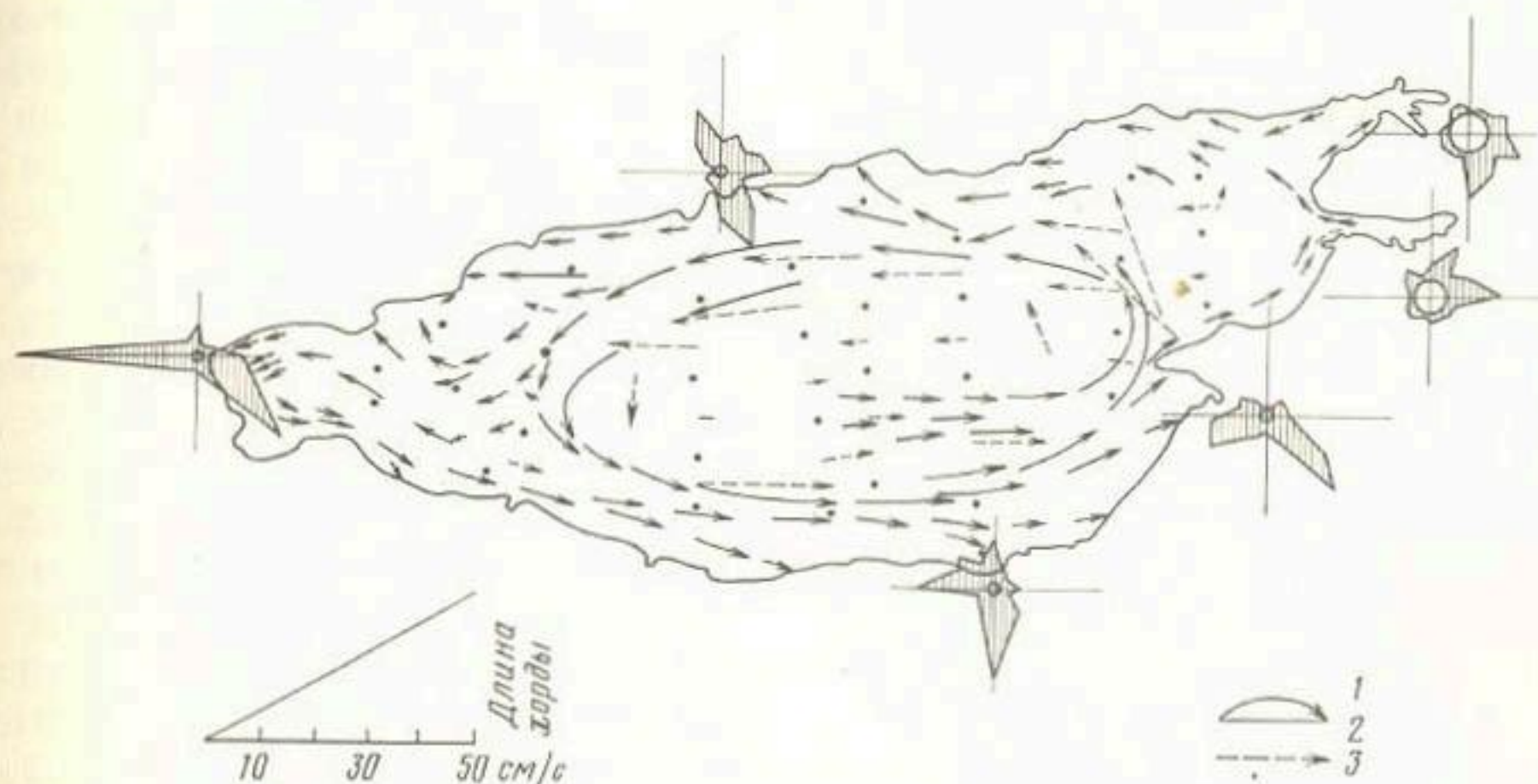


Рис. 2. Розы повторяемости ветров с учетом числа штилей и схема течений оз. Иссык-Куль 10—30 августа 1978 г.:

1 — направление течения; 2 — длина хорды, используемая для определения скорости течения по графику; 3 — вектор течения, рассчитанный динамическим методом

На рис. 2 в центральной части озера отчетливо прослеживается циклоническая циркуляция. Здесь трение потока о берег приводит к тому, что скорости течения в непосредственной близости от берега невелики (2—7 см/с), а при удалении от него возрастают до 35—50 см/с. Они достигают максимума в 5—20 км от берега и далее к центру озера медленно уменьшаются. Циклоническая циркуляция со скоростями 8—12 см/с прослеживается и в западной части озера в зал. Рыбачий. Антициклоническая циркуляция со скоростями течения 2—6 см/с наблюдается у северного берега, у м. Чирпыкты.

При сопоставлении результатов косвенных и непосредственных измерений следует отметить, что скорости течений, рассчитанные динамическим методом, хорошо подтверждаются данными измерений с помощью почтовых карточек, а маршруты движения карточек повторяют динамический рельеф поверхности озера в зоне максимума скоростей циклонической циркуляции. Хорошая сходимость результатов является подтверждением того, что динамический метод учитывает влияние ветра, перераспределяющего поле температуры. То, что ветер перераспределяет водные массы с различной температурой, а следовательно, и плотностью, прослеживается по выходу на поверхность озера купола холодных вод и по увеличению мощности эпилимниона у берегов (рис. 1). Таким образом, динами-

ческий метод учитывает влияние ветра, так как ветер, распределяя в горизонтальной плоскости поле температуры, создает градиенты плотности и плотностные течения.

А. Н. Охлопкова [7] также считает, что динамический метод в неявном виде учитывает ветровые воздействия в той мере, в какой ветер распределяет поле плотности. В то же время Охлопкова суммирует векторы плотностных и ветровых течений, получаемые по эмпирическим зависимостям И. М. Соскина [9] и, следовательно, противореча самой себе, отрицает роль ветра в перераспределении поля плотности. Следует отметить, что ветровые коэффициенты Соскина, полученные на основании натурных наблюдений на Балтийском море, не являются чисто ветровыми, так как они в неявном виде включают в себя и плотностную составляющую.

Охлопкова справедливо считает, что устойчивая циклоническая циркуляция в Онежском озере обусловлена неравномерным прогреванием различных по глубине районов озера. Отмеченная Охлопковой закономерность характерна для оз. Иссык-Куль и для других глубоководных водоемов. Эта закономерность согласуется с мнением Б. Д. Зайкова [2], считающего, что при одном и том же количестве тепла, получаемом единицей водной поверхности, температура и ее изменение во времени зависят от глубины. Объясняется это тем, что под единицей водной поверхности на различных глубинах содержатся различные объемы воды. Поэтому за единицу времени нагревание (охлаждение) больше на вертикалях с малыми глубинами, чем с большими. Благодаря этому эффекту в глубоких водоемах в период летнего нагревания возникает купол холодных вод, прослеживаемый по выпуклости изотерм, свидетельствующий о наличии плотностной циклонической циркуляции. Таким образом, рельеф дна в континентальных водоемах определяет плотностную неоднородность и горизонтальную циркуляцию водных масс против часовой стрелки.

В оз. Иссык-Куль купол холодных вод, появляющийся в апреле и исчезающий в январе, свидетельствует о продолжительном существовании циклонической циркуляции. С одной стороны, наличие купола холодных вод в периоды летнего нагревания и осеннего охлаждения служит предпосылкой для появления постоянной плотностной циклонической циркуляции, но, с другой стороны, нестационарность атмосферных воздействий, накладывающихся на плотностную циркуляцию, не способствует постоянному существованию одной-единственной схемы течений в том или ином месяце.

Из-за больших различий в глубинах между прибрежной и центральной частью неравномерность в нагревании более характерна для глубоких, чем для мелких водоемов. В связи с этим в глубоких водоемах возникают более мощные плотностные циркуляции циклонического знака, чем в мелких. Скорости плотностных течений в таких глубоководных водоемах, как Иссык-Куль и Байкал [4], достигают 50 см/с. Чтобы разрушить плотностную циклоническую циркуляцию в глубоководном водоеме, необходимы мощные атмосферные воздействия. По данным Охлопковой [7] в Онежском

озере, где скорости плотностных течений достигают 26 см/с, ветры со скоростями до 8 м/с нарушают, но не разрушают циклоническую циркуляцию.

Циклоническая циркуляция, наблюдающаяся в оз. Иссык-Куль, характерна для всех глубоководных водоемов северного полушария. Она отмечается в Черном, Каспийском [13] и Балтийском [4] морях, в озерах Байкал [4], Ладожское, Онежское [6, 7], Гурон [14], Боденское и Охридское [8].

В. Б. Штокман [13] считает, что любой циклон, хотя бы частично захватывающий акваторию внутреннего водоема, должен вызывать в нем циклоническую циркуляцию независимо от направления ветра. А так как в ветровых полях северного полушария отмечается преобладание циклонов над антициклонами, то и в водоемах возникают циркуляции преимущественно циклонического знака. Закономерность, отмечаемая Штокманом, основывается на его теоретической разработке, в которой автор рассматривает влияние рельефа дна и поперечной неравномерности ветра на горизонтальную циркуляцию в мелком море или водохранилище [12].

Нельзя не отметить, что теоретические выводы Штокмана, хотя и справедливы для многих водоемов, но не объясняют возникновение антициклонической циркуляции в Аральском море, озерах Балхаш [2], Сонкуль (устное сообщение Г. Д. Шабунина), в Онежском озере, где антициклоническая циркуляция возникает в период осеннего охлаждения [7]. Кроме того, эта точка зрения не объясняет возникновение локальных антициклонических циркуляций у подветренных берегов, которые отмечаются в оз. Мичиган [8], в Лиственичном заливе оз. Байкал [4], в зал. Рыбачий в оз. Иссык-Куль. То, что теория Штокмана не подходит в данных случаях, по нашему мнению, объясняется тем, что автор пренебрег такими важными условиями реального водоема, как плотностная стратификация и сила Кориолиса.

Экман в своих работах показал, что влияние вращения Земли на направление течения в замкнутых водоемах начинает сказываться в том случае, когда глубина водоема превышает глубину трения. Наличие температурной стратификации в мелководных водоемах, определяющей плотностную стратификацию, свидетельствует о том, что глубина трения в них не превышает глубину водоема, а потому для условий мелкого водоема при наличии плотностной стратификации силой Кориолиса пренебрегать нельзя.

В. Б. Штокман [13] прав в том, что если над водоемом в направлении ветра наблюдается свойственное циклонам увеличение скоростей слева направо, то такой ветер будет возбуждать в водоеме циклоническую циркуляцию. Т. В. Ротатова и Т. Н. Филатова [8] увеличение скоростей ветра слева направо в направлении ветра отмечают на Ладожском озере. Несомненно, что такой ветер будет усиливать в период летнего нагревания плотностную циклоническую циркуляцию. На оз. Иссык-Куль, где западный ветер («улан») прижимается к южному берегу, а восточный («санташ») — к северному, ветер также усиливает плотностную циркуляцию. Но раз-

меры континентальных водоемов несоизмеримо малы по сравнению с размерами барических образований. Поэтому, как отмечает Штокман [13], над акваториями внутренних водоемов линии тока ветра никогда не бывают замкнутыми, а носят преимущественно прямолинейный характер. В связи с этим над внутренними водоемами господствуют ветры одного направления и силы. А такие ветры из-за отклоняющегося воздействия силы Кориолиса должны вызывать в водоемах северного полушария антициклоническую циркуляцию, препятствующую в период летнего нагревания плотностной циклонической циркуляции.

Так как мощность плотностной циклонической циркуляции, обусловленной неравномерностью прогрева из-за различия в глубинах, значительно больше в глубоководных водоемах, чем в мелководных, в первых водоемах плотностная циркуляция преобладает над ветровой, а во вторых — ветровая над плотностной. Поэтому в глубоководных озерах Байкал, Иссык-Куль, Ладожское, Онежское, Охридское, Боденское, Гурон и в морях Черное, Каспийское, Балтийское наблюдается циклоническая циркуляция, а в таких мелководных водоемах, как Аральское море, озера Балхаш и Сонкуль, — антициклоническая циркуляция.

При продолжительном воздействии ветра, сопровождающемся сгонно-нагонными явлениями, градиентная сила, обусловленная неравномерностью прогрева, будет уменьшаться у подветренного берега и увеличиваться у наветренного. Это служит предпосылкой для появления изолированной антициклонической циркуляции в глубоководных водоемах у подветренного берега, возникающей за счет преобладания ветровой циркуляции над плотностной. Вероятно, сгонными явлениями и продолжительным воздействием ветров объясняется образование локальных антициклонических циркуляций у подветренных берегов на оз. Мичиган, в юго-западной части озера, и в оз. Байкал, в заливе Лиственичный.

В августе, сентябре и октябре антициклоническая циркуляция наблюдается и в зал. Рыбачий оз. Иссык-Куль, выявляемая динамическим методом по данным наблюдений на 19 стандартных термических вертикалях. Как правило, возникновению антициклонической циркуляции предшествуют сильные ветры западного направления. По отношению к зал. Рыбачий такой ветер однороден по направлению и силе, что является предпосылкой для преобладания ветровой циркуляции над плотностной в условиях ветрового сгона.

В период осеннего охлаждения температура воды понижается быстрее на вертикалях с малыми глубинами, чем на вертикалях с большими глубинами. При этом возникает горизонтальная температурная неоднородность с возрастанием температур от побережья к центру водоема. Вогнутость изотерм свидетельствует о появлении в этот период антициклонической циркуляции. Совпадая по направлению, плотностная и ветровая антициклонические циркуляции в условиях почти полной гомотермии создают мощный водообмен, распространяющийся до максимальных глубин. Возникновение

антициклонической циркуляции в Онежском озере в сентябре и октябре, отмечаемое Охлопковой [7], должно быть характерно в период осеннего охлаждения для всех водоемов северного полушария.

В оз. Иссык-Куль пространственная температурная неоднородность, при которой температура воды в центре озера выше, чем у берегов, существует сравнительно короткий промежуток времени с января по первую половину марта. Для выявления характера горизонтальной циркуляции в этот период 10—13 февраля 1978 г. была проведена термическая съемка озера с одновременным выпуском 500 карточек. Распределение температуры в это время характеризовалось наличием термического бара на западе и востоке озера. Термический бар, образующийся в оз. Иссык-Куль при температуре 2°C [7, 5], отсекал мелководные зоны Рыбачинского и Тюпского заливов. В прибрежных областях за термическим баром вертикальное распределение характеризовалось обратной стратификацией с увеличением температуры от $0,2\text{—}2,5^{\circ}\text{C}$ на поверхности до $1,2\text{—}2,7^{\circ}\text{C}$ у дна. В закрытой части Тюпского залива наблюдался ледостав. В открытой части озера наблюдалась слабо выраженная прямая температурная стратификация, близкая к гомогермии. Здесь в прибрежье отмечались температуры $2,8\text{—}3,2^{\circ}\text{C}$, а в центре озера — $4,2\text{—}4,6^{\circ}\text{C}$. Такое распределение температуры свидетельствовало о существовании в оз. Иссык-Куль трех изолированных антициклонических циркуляций, разделяемых термическим баром. Так как горизонтальные градиенты в зимний период незначительны, скорости плотностных течений, рассчитанных динамическим методом, составили $1\text{—}4\text{ см/с}$.

К сожалению, с помощью почтовых карточек мы не смогли подтвердить наличие антициклонической циркуляции. Вероятно, это объясняется тем, что при малых скоростях течения карточки не успевают дойти до берега за короткий срок существования антициклонической циркуляции. В конце марта антициклоническая циркуляция в оз. Иссык-Куль меняется на циклоническую. Поэтому при движении водных масс в начальный период по часовой стрелке, а затем — против часовой стрелки восстановить маршруты движения карточек не удалось, а время дрейфа карточек составило 2—4 мес. Косвенным подтверждением наличия в зимний период в оз. Иссык-Куль антициклонической циркуляции является то, что при обследовании берега в начале апреля 17 карточек было обнаружено в кутовой части бухты Ак-Чия, ориентированной так, что карточки могли попасть в ее кутовую часть только при наличии течений с востока на запад, т. е. по часовой стрелке. В то же время при обследовании восточного берега п-ва Кара-Булун карточки обнаружены не были, хотя в летний период, характеризуемый наличием циклонической циркуляции, здесь было найдено 25 карточек.

Таким образом, циркуляционный механизм в континентальных водоемах формируется в основном за счет неравномерности нагревания различных по глубине районов.

Закономерность, характерная для континентальных водоемов, объясняет также возникновение антициклонической циркуляции

вокруг океанических островов. В самом деле, неравномерность нагревания из-за различия в глубинах обуславливает наклон уровня поверхности от островов к океану. Это вызывает под действием силы Кориолиса перемещение водных масс вокруг островов по часовой стрелке, отмечаемое для островов северного полушария Штокманом [14].

Эта же закономерность объясняет возникновение в проливах у противоположных берегов противоположно направленных течений. В проливах неравномерность нагревания из-за различия в глубинах так же, как и в озерах, вызывает наклон уровня поверхности к центральной глубинной области. Поэтому с учетом силы Кориолиса в проливах у правого берега течение направлено от наблюдателя, а у левого — навстречу ему. Следует отметить, что правило Н. Н. Зубова «...если встать поперек пролива и вытянуть правую руку вперед, а левую назад, то направление вытянутых рук покажет направление течений у соответствующих берегов» [14], отражающее циклонический характер вращения водных масс, справедливо не только для проливов, а и для глубоководных водоемов в период летнего нагревания.

В заключение следует отметить, что изложенную точку зрения необходимо рассматривать как упрощенную схему теоретической модели, требующую проведения специальных гидрометеорологических наблюдений и дальнейшего математического обобщения.

Выводы

1. Данные о направлениях и скоростях течения в оз. Иссык-Куль, полученные расчетным динамическим методом, хорошо согласуются с результатами непосредственных измерений с помощью почтовых карточек. Хорошая сходимость результатов свидетельствует о том, что динамический метод учитывает влияние ветра, перераспределяющего поле температуры.

2. В апреле—декабре в оз. Иссык-Куль за счет большого различия в глубинах между центральной и прибрежной частями формируется купол холодных вод, который свидетельствует о продолжительном существовании горизонтальной циклонической циркуляции.

3. Так как мощность плотностной циклонической циркуляции, обусловленной неравномерностью прогревания из-за различия в глубинах, значительно больше в глубоководных водоемах, чем в мелководных, в глубоководных водоемах плотностная циркуляция преобладает над ветровой, а в мелководных — ветровая над плотностной. Поэтому для первых характерна циклоническая циркуляция, а для вторых — антициклоническая.

4. В глубоководных водоемах при продолжительном воздействии ветра, сопровождающемся сгонно-нагонными явлениями, градиентная сила, обусловленная неравномерностью прогревания и направленная от берегов к центральной части водоема, уменьшается у подветренного берега. Это служит предпосылкой для появле-

ния изолированной антициклонической циркуляции у подветренного берега. Возникновение ее в период ярко выраженной температурной стратификации происходит за счет преобладания ветровой циркуляции над плотностной в условиях ветрового сгона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букин В. М. Специальные почтовые карточки для сбора информации о поверхностных течениях в водоемах. — Метеорология и гидрология, 1974, № 2, с. 82—85.
2. Зайков Б. Д. Очерки по озероведению. — Л.: Гидрометеиздат, 1955. — 270 с.
3. Кадыров В. К., Данилина Н. Г. Об удельном весе воды оз. Иссык-Куль. — Вопросы водного хоз-ва, 1965, № 3, с. 32—36.
4. Кротова В. А. Геострофическая циркуляция вод Байкала в период прямой термической стратификации. — Труды Лимнологического ин-та. Л.: Наука, 1970, т. 14 (34), с. 11—44.
5. Океанологические таблицы для Каспийского моря. — Изд-во Гидрографического управления ВМС, 1949. — 55 с.
6. Охлопкова А. Н. Течения Онежского озера. — В кн.: Динамика водных масс Онежского озера. Л., Наука, 1972, с. 74—113.
7. Охлопкова А. Н. Течения Ладожского озера. — Труды Лаборатории озероведения, 1966, т. 20, с. 247—265.
8. Ротатова Т. В., Филатова Т. Н. Динамический метод и его применение для исследований течений во внутренних водоемах. — Труды ГГИ, 1973, вып. 203, с. 80—124.
9. Соскин И. М. Эмпирические зависимости для расчетов ветровых течений. — Труды ГОИН, 1962, вып. 70, с. 3—26.
10. Стависский Я. С., Овчаренко Т. П. Геострофическая циркуляция вод оз. Иссык-Куль. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 59 (140), с. 55—59.
11. Хатчинсон Д. Лимнология. — М.: Прогресс, 1969. — 591 с.
12. Штокман В. Б. Влияние рельефа дна и поперечной неравномерности ветра на горизонтальную циркуляцию в мелком море или водохранилище. — В кн.: Избранные труды по физике моря. Л., Гидрометеиздат, 1970, с. 227—237.
13. Штокман В. Б. Некоторые соображения о состояниях и задачах теории океанической циркуляции. — В кн.: Избранные труды по физике моря. Л., Гидрометеиздат, 1970, с. 323—335.
14. Штокман В. Б. Качественный анализ причин аномальной циркуляции вокруг океанических островов. — В кн.: Избранные труды по физике моря. Л., Гидрометеиздат, 1970, с. 308—322.
15. Ayers J. C. A dynamic height method for the determination of currents in deep lakes. — Limnol and Oceanogr., 1956, vol. 1, № 3, p. 150—161.
16. Ayers J. C. and Bachmann R. Simplified computations for the dynamic height of currents in lakes. — Limnol. and Oceanogr., 1957, vol. 2, № 2, p. 163—165.

СОДЕРЖАНИЕ

А. А. Либерт. К вопросу о повышении точности расчетов водных балансов водохранилищ Узбекистана	3
Н. Е. Горелкин, И. Б. Милькис. Метеорологический режим над акваторией Арнасайских озер	17
Г. Е. Глазырин, Е. Л. Глазырина, Г. Д. Шабунин. Статистические характеристики некоторых показателей климата Иссык-Кульской котловины	30
М. Ф. Абитаева. Метеорологический режим района Каттакурганского водохранилища	41
А. М. Никитин, Ю. Н. Лесник. Оценка динамики равнинных озер Средней Азии по материалам космофотоснимков	49
В. А. Мамедов. Морфометрия и морфология озер Кура-Араксинской низменности	56
А. М. Никитин, В. А. Шарбаев. К вопросу о распространении и генезисе озер Памира	67
В. В. Романовский. О применении динамического метода для расчетов горизонтальной циркуляции оз. Иссык-Куль	72

Труды САНИИ Госкомгидромета, вып. 87(168)

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ

Редактор *Т. С. Тихонова*

Техн. редактор *В. Н. Силкина*

Корректоры *Р. А. Агафонова, Л. Б. Афанасьева*

Сдано в набор 18.02.1982 г. Подписано к печати 23.07.1982 г. Т-10995 Формат 60×90^{1/16}

Бумага картогр. Лит. гарн. Печать офсетная Печ. л. 5,25 Уч.-изд. л. 5,88 Тираж 450

Индекс М-М-157 Зак. 345 Цена 35 коп.

Московское отделение Гидрометеоиздата
Москва 107061, Бужениновская, 42/1

Фабрика офсетной печати ВНИИГМИ-МЦД
г. Обнинск

К вопросу о повышении точности расчетов водных балансов водохранилищ Узбекистана. Либерт А. А. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 87 (168), с. 3—16.

Анализируются причины невязок водных балансов Тюябугузского и Каттакурганского водохранилищ. Проведена оценка точности учета основных компонентов баланса.

Метод водного баланса использован для определения подземной приточности в Тюябугузское и Каттакурганское водохранилища.

Табл. 4. Ил. 3. Библ. 6.

Метеорологический режим над акваторией Арнасайских озер. Горелкин Н. Е., Милькис И. Б. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 87 (168), с. 17—29.

На основании материалов экспедиционных исследований и привлечения расчетных методов приводятся сведения о режиме метеорологических характеристик над акваторией крупных мелководных водоемов бассейна р. Сырдарьи, расположенных в пустынной зоне. Дается оценка точности некоторых расчетных методов в данных физико-географических условиях.

Табл. 7. Ил. 2. Библ. 11.

Статистические характеристики некоторых показателей климата Иссык-Кульской котловины. Глазырин Г. Е., Глазырина Е. Л., Шабунин Г. Д. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 87 (168), с. 30—40.

Выполнен анализ статистических характеристик двух основных показателей климата, определяющих баланс массы оз. Иссык-Куль: среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков. Оказалось, что по данным ст. Пржевальск, имеющей наиболее длинный ряд наблюдений, во-первых, линейный тренд указанных элементов за последние 100 лет отсутствует, во-вторых, имеются сдвинутые на полупериод 32—33-летние циклические составляющие. Обнаружено существенное различие в многолетнем ходе температуры воздуха, и особенно осадков на станциях, расположенных на наветренных и подветренных по отношению к основным влагонесущим потокам макросклонах. На последних, кроме того, резко возрастает внутригодовая неравномерность выпадения осадков. Обнаружено значительное влияние озера на термический режим прибрежных станций.

Табл. 3. Ил. 3. Библ. 22.

УДК 551.584.2

Метеорологический режим района Каттакурганского водохранилища. Абитаева М. Ф. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 87 (168), с. 41—48.

Приводятся сведения по температуре, влажности и скорости ветра в районе водохранилища. Анализируются зависимости между режимом метеорологических элементов на береговой станции и над акваторией водохранилища. Показано, что для небольшого водоема существуют устойчивые зависимости метеорологических элементов над акваторией водоема и на берегу.

Табл. 3. Ил. 1. Библ. 4.

УДК 556.54+556.55

Оценка динамики равнинных озер Средней Азии по материалам космофотоснимков. Никитин А. М., Лесник Ю. Н. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 87 (168), с. 49—55.

По материалам космофотоснимков рассматриваются вопросы динамики пойменных, дельтовых и ирригационно-сбросовых озер.

Получение снимков за различные интервалы времени позволяет производить оценку изменения площадей зеркала и уточнять водные ресурсы озер.

Ил. 2. Библ. 5.

УДК 551.481

Морфометрия и морфология озер Кура-Араксинской низменности. Мамедов В. А. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 87 (168), с. 56—66.

Рассмотрены вопросы распределения озер по территории Кура-Араксинской низменности, их морфология и генетическая типизация. Сделаны основные выводы по морфометрии озер.

Табл. 4. Ил. 1. Библ. 18.

УДК 551.481.1

К вопросу о распространении и генезисе озер Памира. Никитин А. М., Шарабаев В. А. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 87 (168), с. 67—71.

По результатам полевых исследований рассмотрены вопросы происхождения озер различных генетических типов. Выявлены основные закономерности распространения озер.

Табл. 1. Библ. 3.

УДК 555.536

О применении динамического метода для расчетов горизонтальной циркуляции оз. Иссык-Куль. Романовский В. В. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 87 (168), с. 72—81.

Исследование течений в оз. Иссык-Куль проводилось расчетным динамическим методом и с помощью почтовых карточек, запаянных в полиэтиленовые пакеты. На основании хорошей сходимости результатов косвенных и непосредственных измерений делается вывод о том, что динамический метод учитывает влияние ветра, перераспределяющего поле плотности.

Дается качественный анализ взаимодействия плотностей и ветровой циркуляции в глубоких и мелких водоемах.

Ил. 2. Библ. 16.