

МОРФОМЕТРИЯ И МОРФОЛОГИЯ ОЗЕР СРЕДНЕЙ АЗИИ

На территории среднеазиатского региона по бассейнам рек Амударьи, Сырдарьи, Чу, Талас, оз. Иссык-Куль, Восточного Памира и Тянь-Шаня, а также бессточных областей Туркмении насчитывается около 6 тыс. озер общей площадью 12 300 км² (табл. 1).

Следует обратить внимание на тот факт, что если озера горных территорий не претерпели каких-либо изменений за последнее двадцатилетие, то на равнинных территориях существенно изменились как площади, так и количество озер. Значительно сократили свои размеры или совсем перестали существовать озера дельт и пойм рек Амударьи и Сырдарьи, образовались новые ирригационно-сбросовые озера по периферии зон орошения, к примеру такие как Сарыкамыш и Арнасай [10, 11]. В связи с этим представляется необходимым пересмотреть основные положения географического распространения озер по территории Средней Азии, разработанные ранее [13, 14].

В подавляющем большинстве озера Средней Азии представлены водоемами малых форм с площадью зеркала менее 1 км², при этом на их долю приходится 95,4% общего числа и лишь 4,03% площади (табл. 1).

За последнее десятилетие наблюдалось резкое сокращение не только «очень малых» ($f < 1$ км²), но «малых» и «средних» озер [6], при этом число озер с площадью 1 км² сократилось с 390 до 257 [14]. С площадью зеркала более 10 км² в настоящее время насчитывается лишь 33 озера. К наиболее крупным «большим» и «очень большим» водоемам относятся озера Иссык-Куль — 6239 км², Арнасай — 1755 км², Сарыкамыш — 1470 км², Каракуль — 380 км², Сонкуль — 275 км², Чатыркуль — 175 км², Камышлыбаш — 178 км². При этом на долю только первых трех приходится около 80% суммарной площади озер.

Наибольшее количество озер сосредоточено в бассейне р. Амударьи — 42,5%, несколько меньше озер в бассейнах р. Сырдарьи и рек Чу, Талас; Иссык-Куль соответственно 25,2 и 28,6%; на бессточные области Туркмении приходится лишь 3,7%. Более 50%

**Количество озер Средней Азии и распределение их по речным бассейнам,
градациям озерных площадей и высотным зонам**

Площадь водной поверхности, км. кв. и высотные зоны, м	Количество озер в бассейнах рек							Площадь озер в бассейнах рек							
	Амударья*	Сырдарья	Бессточные реки и области Туркмении	Чу, Талас** и оз. Иссык-Куль	оз. Иссык-Куль	Всего		Амударья*	Сырдарья*	Бессточные реки и области Туркмении	Чу, Талас и оз. Иссык-Куль**	оз. Иссык-Куль	суммарная площадь	Всего в процентах	
						количество	в процентах							с учетом оз. Иссык-Куль	без учета оз. Иссык-Куль

Распределение по градациям площадей

Менее 1,0	2249	1371	179	1531		5330	95,40	193,00	122,70	42,20	138,47		496,37	4,03	8,20
1,01—10,0	115	29	28	52		224	4,01	216,20	109,50	88,5	154,91		569,11	4,63	9,40
10,1—50,0	5	4	4	8		21	0,38	55,10	59,20	93,1	190,3		397,70	3,23	6,57
50,1—100,0	4			1		5	0,09	278,70			86,9		365,6	2,98	6,03
Более 100,0	2	3		1	1	7	0,12	1850,00	2208,00		175,0	6239	10472,0	85,13	69,80
Всего	2375	1407	211	1593	1	5587	100,00	2593,00	2499,40	223,8	745,58	6239	12300,78	100,00	1000

Распределение по высотным зонам

0—500	575	854	211	920		2561	45,83	1894,87	2169,49	223,8	531,68		4819,84	39,18	79,51
501—1000	13	10		17		40	0,72	1,30	1,13		1,02		3,45	0,02	0,06
1001—1500	14	17				31	0,55	0,23	0,62				0,85	0,01	0,01
1501—2000	15	36		34	1	86	1,54	1,46	8,32		2,78	6239	6251,56	50,82	0,21
2001—2500	31	38		29		98	1,75	7,48	2,41		1,11		11,0	0,09	0,18
2501—3000	47	49		72		168	3,01	1,46	9,51		5,71		16,68	0,14	0,28
3001—3500	558	164		214		936	16,75	100,18	282,92		11,54		394,64	3,21	6,51
3501—4000	383	326		304		913	16,34	467,85	23,34		191,66		683,85	5,56	11,28
4001—4500	485	13		3		501	8,97	97,59	0,66		0,08		98,33	0,80	1,62
4501—5000	246					246	4,40	20,48					20,48	0,17	0,34
5001—5500	8					8	0,14	0,10					0,10	0,00	0,00
Всего	2375	1407	211	1593	1	5587	100,00	2593,00	2499,40	223,8	745,58	6239	12300,78	100,00	100,00

* В бассейн р. Амударьи включены бассейны озер Ранкуль, Каракуль, Курункуль, р. Маркансу.

** В бассейн р. Чу, Талас и оз. Иссык-Куль включены бассейны рек Кызылсу, Кокшаал, Чонузенгикуш, Сарыджас и оз. Чатыркуль.

площади зеркала приходится на оз. Иссык-Куль, одно из крупнейших горных озер мира. В бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи площади озер составляют 21,1 и 20,3%, в бассейнах рек Чу, Талас и оз. Иссык-Куль 6,05%.

Распределение озер по высотным зонам таково, что более половины числа озер и около 60% озерной площади сосредоточено в горных районах Средней Азии или области формирования стока (1500—5500 м). Однако, если не принимать во внимание оз. Иссык-Куль, то 79,5% озерных площадей окажутся сосредоточенными на равнине (табл. 1).

В настоящее время в бассейне р. Амударьи основное количество озер сосредоточено в горных областях Памиро-Алая (75%), в то время как основные озерные площади расположены в равнинной зоне на отметках от 0 до 250 м (73%). В бассейне р. Сырдарьи основное количество озер, около 60%, и более 85% площади зеркала озер сосредоточено на равнине. В бассейнах рек Чу, Талас и оз. Иссык-Куль существенных изменений в перераспределении озер не отмечалось [14].

Неравномерность распространения озер по территории Средней Азии объясняется исключительным разнообразием основных природных факторов, влияющих на формирование озер, — климата, рельефа, геологического строения и стока. Значительные озерные площади на равнинных территориях следует объяснить вслед за Л. А. Молчановым [8] «сухостью равнинной территории климата при близком соседстве более богатых влагой гор», в которых формируется значительный речной сток.

Значительное сосредоточение озер в горных областях объясняется гидроклиматическими особенностями, так как горы Средней Азии служат аккумуляторами влаги, формирующими сток среднеазиатских рек, а также наличием благоприятных геоморфологических и геотектонических условий. Именно этим следует объяснять повышенное сосредоточение озер в интервале высот от 3000 до 4000 м, где расположены плоские с небольшими уклонами высокогорные пространства Памира и Тянь-Шаня, мощные геологические разломы и сбросы, тектонические впадины; здесь же наблюдаются отрицательные формы рельефа, связанные с проявлением деятельности современного и древнего оледенения, благоприятные для образования большого числа «озерков» и «очень малых» озер.

Озерность территории Средней Азии в настоящее время оценивается в 0,56%, при этом озерность равнинной территории составляет 0,27% и горной 2,04%. Наибольшая озерность приходится на область внутреннего стока Восточного Памира, где озерность составляет 5,4%, в целом же озерность Средней Азии незначительна, если ее сравнить с озерностью Карелии — 10,7% [5], Северного Казахстана — 3,9% [15] или Кавказа — 1,0% [7]. В образовании озерных котловин Средней Азии играли роль как внешние, так и внутренние процессы. Рассматривая озерные котловины по их генезису и морфологии, следует выделить пять основных групп: тектониче-

ские, гляциогенные, гидрогенные, завальные и дефляционно-соровые. При этом следует отметить, что некоторые озерные котловины имеют довольно сложный генезис, обусловленный действием ряда факторов. В формировании котловины могут принимать участие гляциогенные и обвально-оползневые процессы (оз. Азорчашма) или водно-эрозионные и дефляционные (озера Тузкане, Денгизкуль, низовья рек Чу и Талас).

Озера тектонического происхождения, образовавшиеся в результате заполнения водами внутригорных и межгорных тектонических впадин, платформенных прогибов или приуроченные к тектоническим разломам и сбросам, являются азональными на территории Средней Азии. Эта группа озер немногочисленна и представлена наиболее крупными водоемами: Аральское, Иссык-Куль, Каракуль, Сонкуль, Чатыркуль, а также ряд малых озер. В своем большинстве эти озера приурочены к бессточным котловинам и являются гигантскими испарителями стока среднеазиатских рек.

Котловины гляциогенных озер обязаны своим происхождением деятельности как современного, так и древнего оледенения и подразделяются на пять типов: ледниковые (собственно ледниковые), каровые, зандровые и моренные.

Завальные озера образуются при перегораживании долин в результате горных обвалов, оползней, конусов выноса притоков более мелкого порядка, при сходе лавин в русла рек и подразделяются на три типа: завально-тектонические, завально-оползневые и завально-снеголавинные.

Озера, котловины которых обязаны своим происхождением действию речных, подземных и морских вод, относятся к группе гидрогенных и подразделяются на следующие типы: провальные, водно-аккумулятивные и водно-эрозионные. Провальные озера, котловины которых сформированы под воздействием подземных вод, приурочены к участкам проседания земной коры и представлены на территории Средней Азии тремя подтипами: карстовыми, суффозионными и термокарстовыми. Абсолютное большинство озер, приуроченных к равнинным территориям, относится к водно-эрозионно-аккумулятивному типу озер, их котловины сформированы в результате действия поверхностных вод и подразделяются на пять подтипов: дельтовые, старицы, конечные, плесовые и лагунные.

Котловины дефляционно-соровых, или эловых, озер образуются на равнинных территориях в зоне пустынь и полупустынь под действием ветрового выдувания, но на эловые процессы накладывает отпечаток и действие ряда других факторов, в связи с чем озера этого типа весьма редки. Это пустынные эфемеры, существующие лишь непродолжительную часть года за счет аккумуляции местного стока на такырных поверхностях.

К озерам горных территорий относятся гляциогенные, завальные и термокарстовые — это стоково-приточные, олиготрофно-гидрокарбонатные водоемы. К озерам равнинных территорий относятся водно-эрозионно-аккумулятивные и эловые — это стоково-приточные, испарительно-приточные, мезотрофные-гидрокарбонатно-сульфатно-

Классификация озер Средней Азии

Вид	Группа	Тип	Подтип
азональные горные	тектонические гляциогенные	ледниковые	
		каровые	
		зандровые	
		моренные	
		тектонические	
	завальные	оползневые	
равнинные	гидрогенные	снеголавинные	
		провальные	суффозионные
	гидрогенные		карстовые
			термокарстовые
		эрозионные	
		аккумулятивные	
	дифляционно-со- ровые		дельтовые
			старицы
			плесовые
			конечные лагунные

хлоридные водоемы, в зависимости от направленности водного баланса.

Суффозионные и карстовые озера расположены в горной и предгорной зонах, а тектонические — явление аazonальное на территории Средней Азии, и они немногочисленны (табл. 2).

Определенные закономерности наблюдаются и в распределении различных типов озер по высотным зонам. Наиболее верхние зоны горной территории Средней Азии занимают озера гляциогенного происхождения, максимальное число и площади зеркала которых приходят на интервал высот от 4000 до 4500 м. Здесь расположено более четверти числа озер и около трети их площади. Нижняя граница распространения озер этой группы опускается до 2200 м, что объясняется наличием озер, происхождение которых связано с древним оледенением в бассейне оз. Иссык-Куль, расположенным на более низких отметках, чем в остальных районах Средней Азии, но озер здесь немного, около 20 с площадью зеркала 0,74 км².

Наличие ледниковых озер в зонах от 2500 до 300 м связано в основном с современным оледенением. Это озера приледниковых зон

и собственно ледниковые озера. Интервал высот от 3500 до 5500 м — зона наибольшего распространения озер, связанных с деятельностью современного и древнего оледенения Памиро-Алая.

Термокарстовые озера сосредоточены в более узком интервале высот. Они редко наблюдаются ниже отметки 3000 м и выше 4500 м. Распространение озер определяется границами расположения зон вечной мерзлоты на территории Средней Азии. Нижняя граница определяется температурной границей распространения зон вечной мерзлоты, верхняя — суровостью климата. Максимум числа озер приходится на интервал высот от 3000 до 3500 м в основном за счет большого числа мелких озер в долине р. Кызылсу (Сарыташ). Однако площади зеркала имеют максимальные значения в интервале высот свыше 3500 м, так как наиболее крупные термокарстовые озера сосредоточены в верховьях бассейна р. Нарын.

Завальные озера расположены в интервалах высот от 1700 до 3800 м и приурочены в основном к геологическим разломам и сбросам. Среднеазиатские горы представляют участок платформы, охваченной новейшими тектоническими движениями, которые и сейчас выражаются в виде сильных землетрясений. С наиболее крупными надвигами и сбросами связана обвальная-оползневая деятельность, ставшая причиной образования абсолютного числа больших и малых завальных зер. Так, в бассейне р. Чирчик с Каракырским надвигом связано образование оз. Шавурколь, с Кантаркумышским и Бодакским — оз. Ихнач и Бодак, Каржантаусским — оз. Урунгах, Сарыканским — Коксуйских озер.

«Всплеск» площадей зеркала в интервале высот более 3000 м объясняется наличием здесь наиболее крупных завальных озер — Сарезского и Яшилкуль.

Озера равнинных территорий, представленные дельтовыми, старицами, плесовыми и конечными, расположены в интервале высот до 400 м. Озера дельт имеют распространение в зоне от 50 до 70 м, в распределении конечных и плесовых озер наблюдаются два всплеска, что объясняется местоположением слепых устьев рек Чу, Таласа и Зарафшана в зоне от 100 до 400 м; на зону от 50 до 100 м приходятся озера Хорезма. Старицы наблюдаются в интервале высот от 100 до 400 м.

Теоретические основы морфометрического анализа озер были разработаны Г. Ю. Верещагиным [2], в дальнейшем дополнены и развиты в работах С. Д. Муравейского [9], Б. Б. Богословского [1], С. В. Григорьева [4] и других исследователей. При анализе морфометрических характеристик озер Средней Азии были рассмотрены основные морфометрические показатели, прочно вошедшие в практику озерных исследований, и использованы материалы исследования озер Среднеазиатскими управлениями Гидрометслужбы в период 1960—1975 гг., а также те немногочисленные литературные источники, в которых были опубликованы данные исследований предыдущих лет [14, 16]. Из общего числа озер были проанализированы показатели более чем по 500 озерам равнинных и горных территорий.

Морфометрические показатели озерных котловин

Генетический тип	Высота над уровнем моря, м	Площадь водосбора, км ²	Объем, млн. м ³	Площадь озера, км ²	Длина, км	Ширина, км
Тектонические	0—4000	12—15651	5,6—1 755 000	1,3—6239	3,0—182	0,6—58
Каровые	3200—3900	0,2—11,5	0,02—10,8	0,01—0,46	0,1—1,2	0,07—0,7
Моренные	2000—3700	0,1—64	0,01—20,0	0,01—1,2	0,1—2,3	0,04—0,7
Термокарстовые	300—4500	1—90	0,02—5	0,01—1,5	0,1—3	0,05—0,80
Завальные	1500—3800	1,5—16500	0,01—16 000	0,01—86	0,15—61	0,07—3,4
Провальные	500—2000	—30,0	0,2—4,84	0,04—0,24	0,3—0,7	0,20—0,56
Старицы	100—500	—	0,5—10	0,50—20	0,2—14,5	0,1—4,1
Конечные	100—400	—6000	0,5—12 600	0,5—1760	1—136	0,2—20
Дельтовые	50—70	—	0,2—955	0,1—178	0,5—27,6	0,2—9,5
Генетический тип	Глубина, м		Длина береговой линии, км	$K = \frac{f_v}{f_{oz}}$	$\frac{l}{b_{cp}}$	$\frac{b_{cp}}{b_{max}}$
	средн.	наибол.				
Тектонические	0,7—277	3,8—668	6,5—614	4,1—243	2,2—6,8	0,46—0,83
Каровые	2—23,2	5,5—43	0,3—3,2	5,8—96	1,40—4,80	0,6—0,8

Моренные	0,2—17,0	0,8—50,0	0,2—6,3	2,6—547	1,4—8,9	0,15—0,9
Термокарстовые	0,5—3	1,0—8,2	0,5—10	5—120	2—6,3	0,55—0,8
Завальные	2—185	2,9—505	0,4—1703	20—6000	1,4—41,5	0,4—0,9
Провальные	6,5—20,2	10—42,7	0,8—2,2	10—300	1,55—2,4	0,62—0,74
Старицы	0,5—2,5	1—4,5	1,3—70	—	1,1—4,0	0,4—0,90
Конечные	0,5—11	0,1—22	3—450	— < 100	1,2—12,5	0,4—0,99
Дельтовые	0,5—6	2—10	2—115	—	1,66—15,2	0,2—0,8

Генетический тип	$\frac{f_{кр}}{f_{оз}}$	$U = 0,28 \frac{L}{\sqrt{f}}$	$\frac{h_{ср}}{\sqrt{f}}$	$c_1 = \frac{h_{ср}}{h_{max}}$	$\frac{f_{оз}}{L}$
Тектонические	2—5	1,2—4,3	0,36—40,7	0,26—0,68	0,2—10,2
Каровые	1,1—1,8	1,06—1,56	7,2—30	0,3—0,57	0,02—0,14
Моренные	0,84—17,8	1,91—2,18	1,2—33,1	0,04—0,64	0,005—0,19
Термокарстовые	1,5—3	1,1—1,6	1,5—4	0,45—0,65	0,002—0,15
Завальные	0,34—36	1,1—3,0	1,8—62	0,25—0,70	0,008—0,57
Провальные	1,2—1,6	1,2—1,3	12,5—32	0,38—0,61	0,046—0,11
Старицы	1,2—36	1,1—5,6	0,2—2,3	0,30—0,83	0,063—2,48
Конечные	1,06—45	1,1—6,9	0,15—1,5	0,40—0,70	0,12—2,00
Дельтовые	1,2—25	1,1—49	0,8—2,1	0,50—0,80	0,09—1,54

Размеры озерных котловин Средней Азии колеблются в весьма широких пределах. Одной из важнейших морфометрических характеристик озер является площадь водной поверхности и, если следовать классификации П. В. Иванова [6], озера Средней Азии изменяются от «озерков» с площадью $0,01 \text{ км}^2$, до «очень больших» с площадью более 1000 км^2 . К «большим» и «очень большим» водоемам относятся озера тектонического происхождения, такие как Иссык-Куль, Каракуль, Сонкуль, Чатыркуль в горных зонах и конечные озера на равнинах, где ведущим фактором формирования озерной котловины являлись водно-эрозионные и водно-аккумулятивные процессы, при содействии также ряда других факторов — дефляции, тектоники; это наиболее крупные озера равнинной территории — Айдар и Сарыкамыш. Основное же количество конечных озер представлено «очень малыми» водоемами, однако к этому подтипу относится значительное число «малых» и «средних» озер. К наиболее малым водоемам «озеркам» относится абсолютное большинство ледниковых и каровых озер, площадь зеркала которых в исключительно редких случаях превышает величину $0,1 \text{ км}^2$. Наиболее крупным каровым озером является оз. Зоркуль в бассейне р. Исфайрамсай, площадью $0,46 \text{ км}^2$. Несколько большие площади зеркала имеют моренные озера — до $1,2 \text{ км}^2$, однако в большинстве своем также не превышающие $0,1 \text{ км}^2$. К ним близки по своим размерам термокарстовые, карстовые и суффезионные озера.

Площади зеркала завальных озер колеблются в значительных пределах и могут достигать размера «средних»: Сарезское — 86 км^2 , Яшилкуль — 36 км^2 ; однако основное их число также относится к «очень малым» и «озеркам». С площадью зеркала от 1 до 5 км^2 насчитывается лишь немногим более 10 водоемов: это такие озера как Айкуль — $1,01 \text{ км}^2$, Каратоко — $1,07 \text{ км}^2$, Маргузор — $1,12 \text{ км}^2$, Карасу — $4,17 \text{ км}^2$, Сарычелек — $4,92 \text{ км}^2$, Б. Кулун — $3,28 \text{ км}^2$, Искандеркуль — $3,41 \text{ км}^2$, Шадау — $2,23$, Друмкуль — $1,54 \text{ км}^2$, Кольсу — $4,50 \text{ км}^2$, Кольукок — $1,60$.

Озера дельт и пойм представлены в основном озерами с площадью зеркала от $0,2$ до 1 км^2 , однако отдельные водоемы могут достигать значительных размеров — оз. Камышлыбаш в дельте р. Сырдарьи — 178 км^2 или оз. Судочье в дельте р. Амударьи — 96 км^2 (до усыхания дельты 333 км^2). Распределение озер по градациям озерных площадей приведено в табл. 1, а по изменению площадей водной поверхности генетически однородных типов озер — в табл. 3.

По форме в плане озера Средней Азии весьма разнообразны. Для характеристики конфигураций озер были использованы следующие показатели: удлиненности или вытянутости определяемой как отношение длины озера к его средней ширине $\frac{l}{b_{\text{ср}}}$ компактности, определенный как отношение средней ширины наибольшей $b_{\text{ср}}/b_{\text{мах}}$, показатель развития акватории — или отношение площади круга, имеющего окружность, равную длине береговой линии, к площади озера ($U_1 = f_{\text{кр}}/f = 0,8L^2/f$) и показатель развития бере-

говой линии — отношение длины береговой линии к длине окружности равновеликого озера круга ($U_2=0,28L/f$).

Основное количество горных озер по форме водной поверхности близко к округлой и овальной форме, имеет показатель удлиненности в пределах от 1,15 до 5. Это малые горные озера карового, моренного, термокарстового, провального, завального, а также тектонического происхождения.

К группе овально-удлиненных и удлиненных озер относятся из равнинных старицы конечные, в меньшей степени дельтовые, из горных наиболее крупные завальные озера — Сарезское ($l/b_{\text{ср}}=18$), Яшилкуль ($l/b_{\text{ср}}=7$), Сарычелек ($l/b_{\text{ср}}=10$) и ряд других.

Средние значения показателя компактности озер составляют 0,6—0,8, но нередко превышают значения 0,9—0,95 и опускаются до 0,3. Наиболее компактными также являются ледниковые, каровые, моренные, термокарстовые и провальные водоемы. К наименее компактным, с коэффициентом компактности менее 0,5, относятся большие завальные озера: Сарезское ($b_{\text{ср}}/b_{\text{max}}=0,43$), Карасу ($b_{\text{ср}}/b_{\text{max}}=0,34$), Сарычелек ($b_{\text{ср}}/b_{\text{max}}=0,32$), а также ряд конечных и дельтовых озер.

Расчет коэффициента развития акватории и береговой линии (U_1 и U_2) также подтверждает предыдущие выводы, что наиболее сглаженные формы береговой линии, и акватории озер присущи ледниковым, каровым, моренным, термокарстовым, провальным водоемам; U_1 и U_2 изменяются от 1,1 до 3 и от 1,1 до 1,5; несколько большие значения U_1 и U_2 имеют тектонические — $2=5$ и $1,2=1,8$; исключение составляет оз. Каракуль ($U_2=2,34$). Завальные озера, занимающие межгорные долины, имеют коэффициент развития от 2 до 20 и от 1,5 до 3. Наибольшие коэффициенты U присущи озерам равнинных территорий: старицам, дельтовым и конечным — от 1,6 до 20 и от 1,1 до 7, при этом малые озера с площадями зеркала до 1—3 км² имеют средние значения U_2 от 1,5 до 2,4, а при увеличении площадей до 10 км² и более резко возрастает до 3—7. Проведенный анализ позволяет подразделить озера Средней Азии по форме их водной поверхности в плане на две основных категории — это простые округлой и овальной формы, блюдцеобразные и каплевидные водоемы, куда относятся ледниковые, каровые, термокарстовые, моренные, провальные, тектонические и малые завальные озера. Ко второй категории относятся крупные завальные, дельтовые, старицы и конечные озера, отличающиеся сложной конфигурацией, значительными коэффициентами развития акватории и береговой линии, удлиненности и малыми коэффициентами компактности. Характерные формы различных генетических типов озер представлены на рис. 1.

Весьма различный характер носит и распределение глубин озер Средней Азии, которые изменяются от нескольких десятков сантиметров до нескольких сот метров (табл. 3).

К морфометрическим показателям, характеризующим форму водоема по вертикали, относятся наибольшая и средняя глубина и показатель относительной глубины, определяемой как отношение

средней глубины озера к корню кубическому из его площади [6]

$h_{отк} = \frac{h_{ср}}{\sqrt[3]{f}}$, при этом озера по относительной шкале глубин подразделяются на пять групп: от «очень мелких» до «очень глубоких».

Очень мелкие — 0,1—0,5; мелкие — 0,5—2,0; нормальные 2,0—4,0; глубокие — 4,0—10,0; очень глубокие — 10,0—20,0. Д. Хатчин-

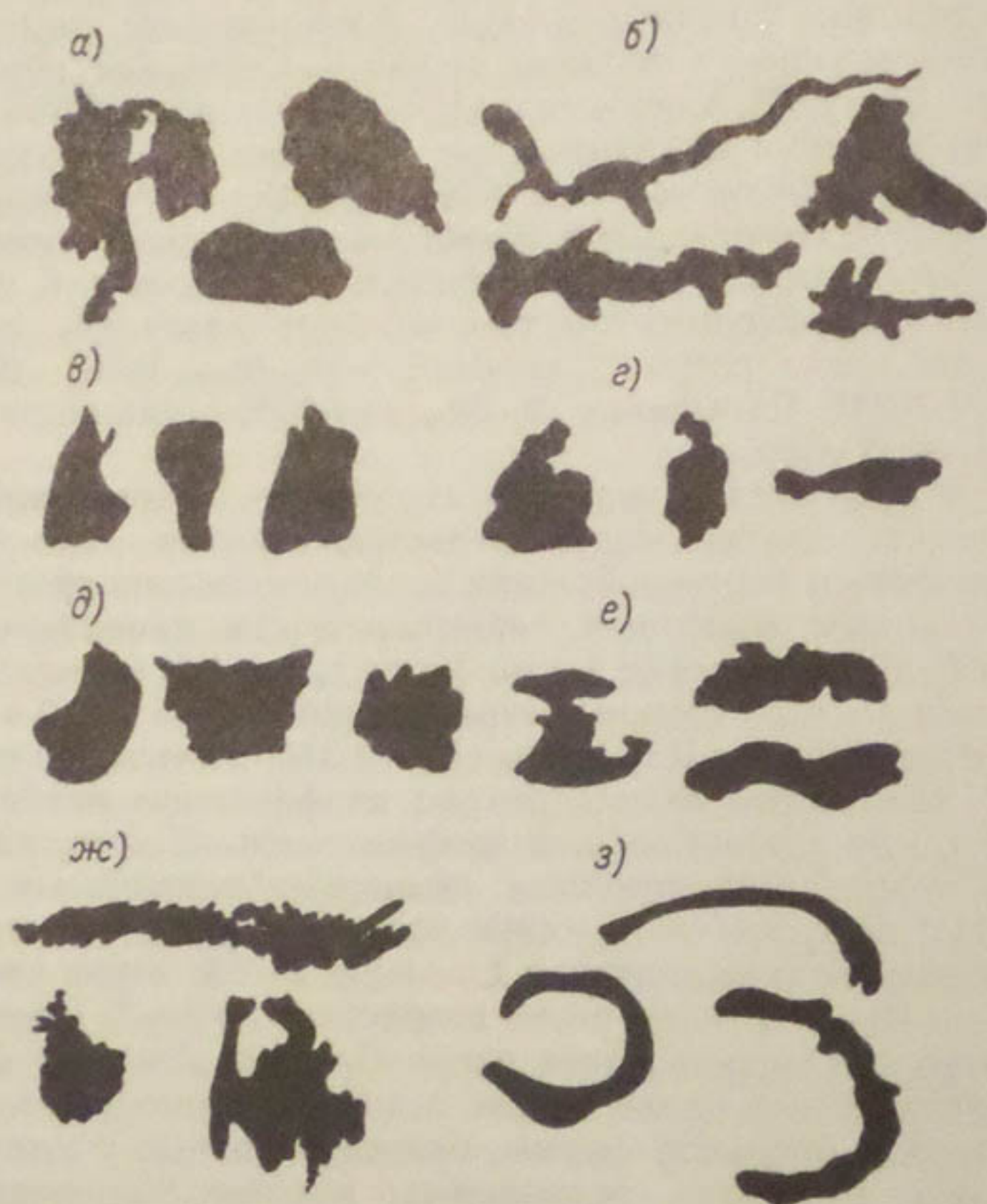


Рис. 1. Сравнительные формы озерных котловин.

а — тектонические, б — завальные, в — каровые, г — моренные, д — провальные, е — дельтовые, ж — конечные, з — старицы.

соном был предложен показатель относительной глубины как отношение наибольшей глубины к диаметру круга, равновеликого площади озера $h = \frac{h_{max}}{D_{кр}}$, но в связи со сложностью расчета этот показатель весьма редко используется при морфометрическом анализе озерных котловин.

По абсолютной глубине к наиболее глубоким водоемам относятся тектонические — Иссык-Куль ($h=668$ м), Каракуль ($h=238$ м),

и завальные: Сарезское ($h=505$ м), Сарычелек ($h=324$ м), Карасу ($h=150$ м), Айкуль ($h=121$ м), Каратоко ($h=111$ м), Б. Кулун ($h=91$ м), Искандеркуль ($h=72$ м) и др.

Несколько меньшие глубины имеют моренные и каровые озера, средняя глубина которых за редким исключением превышает 10 м, а максимальные могут достигать 40—50 м. К мелководным водоемам горных территорий относятся термокарстовые озера и некоторые тектонические: Сонкуль ($h=15$ м), Шоркуль ($h=6$ м), Сасыккуль ($h=6$ м), Рангкуль ($h=2$ м). Озера равнин имеют незначительные глубины и в редких случаях превышающие глубину 5 м (Айдар — 22 м, Камышлыбаш — 9,5 м, Тузкане — 10 м).

По показателям относительной глубины к «очень глубоким» относится абсолютное большинство завальных озер, коэффициенты относительной глубины которых в большинстве случаев больше 20 ($h_{отн} > 20$), исключение составляет лишь оз. Яшилькуль на Памире ($h_{отн}=4$). К той же группе «очень глубоких» относятся провальные, каровые и моренные озера, величины коэффициента $h_{отн}$ которых колеблются от 10 до 20 при наибольших значениях 32 — Канбешкулак, 28; 30 — Зоркуль, Арашан. Значения относительной глубины равнинных озер-стариц, дельтовых и конечных в основном оцениваются коэффициентом $h_{отн}=0,5—2$, что позволяет отнести их к «очень мелким» и «мелким» водоемам.

К группе озер «нормальной» глубины относятся термокарстовые озера, а также некоторые озера карового и моренного происхождения.

В связи с тем что подавляющее большинство озер относится к «озеркам» и «очень малым» с площадью до 1 км², объемы озер невелики и изменяются от 0,01—0,02 млн. м³ до 60 млн. м³.

«Малые» и «средние» озера равнинной территории с площадью зеркала от 1 до 100 км² имеют объемы от 1 до 200 млн. м³, а «малые» горные озера от 25 до 500 млн. м³.

Основные водные ресурсы озер Средней Азии сосредоточены в озерах Иссык-Куль — 1755 млрд. м³, Каракуль — 26,6 млрд. м³, Сарезское — 16,1 млрд. м³, Арнасай — 12,5 млрд. м³, Сарыкамыш — 15,3 млрд. м³, Сонкуль — 2,8 млрд. м³.

Для характеристики форм озерных котловин был использован показатель емкости или отношение средней глубины к наибольшей

$c_1 = \frac{h_{ср}}{h_{max}}$, позволяющей оценить степень полноты объема и произвести сопоставление озерной котловины с простыми телами вращения: цилиндр — $c_1=1$, полушар — 0,67, параболоид — 0,50, конус — 0,33 [2].

С. Д. Муравейским был предложен показатель формы озерных котловин, определяемый как отношение средней глубины к глубине центра тяжести масс озера, однако этот метод достаточно сложен, и определение коэффициента $c_2 = h_{ср}/s_0$ проводилось лишь для небольшого числа генетически разнородных озер, при этом значения c_2 сравнимы со значениями коэффициента c_1 , так как c_1 связан соотношением с коэффициентом c_2 как $c_1 = c_2 - 1$. Наглядной харак-

теристикой формы котловины являются также зависимости объемов от уровня воды озер, построенные в относительных величинах (рис. 2). Более вогнутый характер кривых имеют озера, формы котловин которых имеют значения c_1 , близкое к 0,3—0,4, и $c_2 = 1,3—1,4$, биссектриса угла соответствует цилиндру ($c_1 = 1$ и $c_2 = 2$).

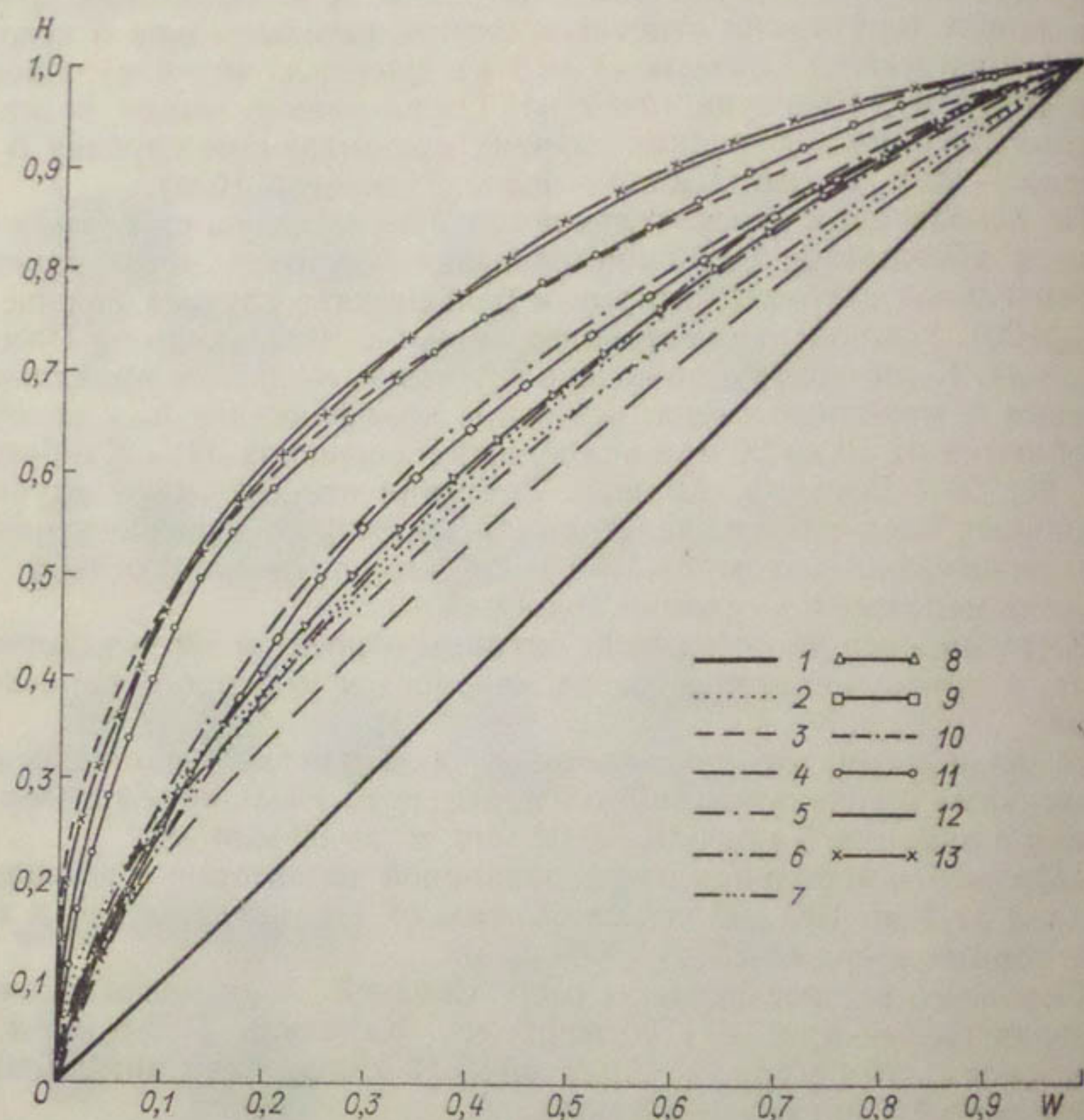


Рис. 2. Зависимости объемов от уровня воды в относительных величинах.

1 — цилиндр; 2 — параболоид; 3 — конус; 4 — Сонкуль; 5 — Карасубашикуль; 6 — Кугала; 7 — Иссык-Куль; 8 — Айкуль; 9 — Капкаташ; 10 — Кулун; 11 — Арашан; 12 — Ирису; 13 — Арасан.

Озера ледникового, карового и моренного происхождения, близкие по форме котловины к конусу, имеют значения коэффициента емкости 0,3—0,4, но отдельные озера приближаются к параболоиду. Несколько выше показатель емкости завальных и провальных озер 0,4—0,6; при этом для озер, имеющих коэффициент удельного водосбора $k_1 = \frac{F}{f}$ до 100, формы котловин занимают промежуточное положение между конусом и параболоидом; для озер, на режим кото-

рых бассейнов оказывает весьма существенное влияние ($k_1 > 100$), формы котловин занимают промежуточное положение между параболоидом и полушарием. К наиболее развитым относятся котловины дельтовых и конечных озер, для которых значение коэффициента емкости колеблется в пределах 0,6—0,7; старицы близки к конической форме котловин. Показатель емкости является и показателем стабильности водных масс, наиболее стабильными являются котловины, приближающиеся к цилиндру: дельтовые и завальные озера, менее — к конусу — гляциогенные озера.

Соотношение между площадными и объемными характеристиками озера или оценку степени воздействия климатических факторов на водные массы озера можно произвести путем вычисления показателя «открытости», определяемого как отношение площади зеркала к средней глубине ($f/h_{\text{ср}}$). Значения показателя открытости изменяются в весьма широких пределах от 0,001 до 50. Наименьшие значения показателя «открытости» имеют «очень глубокие» и глубокие озера, имеющие малые значения площади зеркала, к которым относятся абсолютное большинство каровых, моренных и завальных озер.

Мелкие озера равнинных территорий, а также некоторые «глубокие» горные озера имеющие значительные площади водного зеркала, характеризуются значениями показателя открытости более 1; при этом даже такое глубоководное озеро, как Каракуль ($h_{\text{max}} = 238$ м) имеет показатель 4,8.

Высокими показателями характеризуются дельтовые, конечные и старичные водоемы.

Связь между элементами водосбора и озером можно установить по ряду гидроморфологических показателей, наиболее распространенными среди которых являются показатели удельного водосбора

$k_1 = \frac{F}{f}$ и условного водообмена $k_2 = \frac{V_{\text{пр}}}{V_{\text{оз}}}$ [4], представляющие собой отношение площади водосбора к площади акватории озера и объема среднегодового притока воды в озеро к объему водной массы, позволяющие оценить степень влияния водосбора на режим озер. Величина удельного водосбора k_1 для озер Средней Азии изменяется весьма широко, в пределах от 1 до 6000.

По градации С. В. Григорьева следует выделить три группы озер в зависимости от показателя k_1 : 1) озера с малым удельным водосбором $k_1 < 10$; 2) озера со средним удельным водосбором $10 < k_1 < 100$; 3) озера с большим удельным водосбором $k_1 > 100$ [3].

К озерам с малым удельным водосбором относится незначительное количество ледниковых, каровых, термокарстовых, а также тектонических озер. Основное же количество горных озер Средней Азии относится к группе озер со средним и большим удельным водосбором. Для озер равнинных территорий определение показателя удельного водосбора весьма затруднено, так как весьма сложно определить, какую площадь считать водосбором для дельтовых или старичных озер, когда непосредственной связи с рекой может не наблюдаться или таковая может существовать лишь в крайне

многоводные годы. Если озера находятся на пойме, водообмен может быть осуществлен фильтрационным путем при высоких горизонтах воды, что не позволит оценить площадь водосбора, площадь прилегающей территории равнин, с которой может осуществляться кратковременный боковой сток, также не определяется в связи с трудностью установления по картам границ водоразделов.

Наибольшие значения показателя удельного водосбора имеют озера завального происхождения. Значения k_1 достигают 6000, при этом значительное количество озер имеют значения $k_1 > 100$, в связи с чем в водном балансе и режиме озер первостепенную роль играет приток поверхностных вод.

Величина условного водообмена колеблется от 0,1 до 10, при этом «очень глубоким» озерам со значительными объемами воды присущи малые величины условного водообмена или режим слабого водообмена ($k_2 < 1$), а «нормальным» и «глубоким» k_2 от 2 до 10.

Сказать что-либо об условном водообмене у озер других генетических типов весьма сложно, так как нет данных о возможной приточности, однако в первом приближении такую оценку произвести можно, определяя сток по картам изолиний модуля стока для различных территорий Средней Азии. Озера равнинных территорий, как отмечалось выше, весьма мелководны и имеют незначительные объемы, в связи с чем значения условного водообмена достигают больших величин; $k_2 > 10$, когда озера имеют связь с рекой или расположены в слепых устьях рек.

При рассмотрении конфигурации ложа озерных котловин различных генетических типов обращает на себя внимание характер распределения глубин. Для тектонических впадин зона максимальных глубин расположена преимущественно в центральной зоне водоема, подобное распределение имеют озера провального типа, при этом у глубоких тектонических и карстовых озер нарастание глубин происходит весьма интенсивно. На прибрежную зону с глубинами до 2—3 м приходится лишь 10% площади зеркала. На мелководных тектонических озерах (Шоркуль, Рангкуль, Чатыркуль), где $h_{отн} = 0,3—1,5$, наблюдается постепенное нарастание глубин с характерным убыванием крупности донных отложений от берегов к центральным зонам котловин.

Для плотинных — завальных и моренных озер характерно смещение зон наибольших глубин в приплотинные зоны. Приустьевые зоны имеют наименьшие уклоны дна 30—40‰ и подвергаются занесению и заилению. Для «малых» и «средних» озер ($f > 1 \text{ км}^2$) приустьевые зоны исключительно малы, но для «очень малых» озер и «озерков» ($f < 1 \text{ км}^2$) и значительных коэффициентах удельного водосбора ($k_1 > 100$) приустьевая зона может достигать 50% всей площади чаши озера. Уклоны дна в призавальной зоне для большинства озер велики, часто более 100‰ (Каратоко — 190, Айкуль — 143, Сарычелек — 186, Карасу — 130, Б. Кулун — 140). Обратное распределение глубин наблюдается у каровых озер, где наибольшие

уклоны имеют место в приустьевой или прицирковой зоне и наименьшие в ригельной или в зоне оттока воды из озера.

Берега горных озер Средней Азии сложены твердыми породами и слабо подвержены переформированию. Факторы, оказывающие первостепенное значение на формирование берегов, волны, течения, физико-геологические процессы в связи с незначительностью водных поверхностей не могут оказать сколь-нибудь существенного влияния на берега и их морфологию, за исключением таких крупных водоемов, как Иссык-Куль, Каракуль, Сонкуль, Чатыркуль. Более интенсивной переработке подвергается береговая линия термокарстовых озер, на которых ежегодно наблюдается разрушение берегов в результате развития криогенных процессов.

Накопление донных отложений и перемещение наносов под действием динамических факторов наблюдается повсеместно. При этом в распределении наносов по длине горных озер наблюдаются определенные закономерности. В приустьевых зонах ложе озерных котловин сложено крупной и мелкой галькой и песками крупных фракций, по мере продвижения в глубь водоемов крупность песка уменьшается и наблюдается переход в иловые пески и илы исключительно минерального состава.

Крупность отложений убывает также от бортов длины к центральной части чаши. Валы и глыбы располагаются у береговых уступов и в призавальных зонах, между ними лежат галечник и пески крупной фракции. По мере удаления от урезов галечники сменяются галечно-песчаными, гравелисто-песчаными отложениями. Более мелкие фракции и илы заполняют глубоководную зону. Накопление ила в глубоководных водоемах имеет правильный годичный ход. Изучение слоистости озерных отложений позволяет установить возраст озер и особенности многолетнего колебания поверхностного стока. Ярким примером тому являются исследования, проведенные на оз. Яшинкуль после его прорыва в 1966 г. Сохранившиеся останцы несмытого дна озера в приустьевой, центральной и призавальной зонах позволили установить возраст водоема в 300 лет. Слой иловых отложений достигал 350—400 мм, а слой приустьевых отложений песков крупных и мелких фракций до 4000 мм.

Анализ карт различных лет изданий, материалов аэрофотосъемок и полевых определений положения береговой линии позволяет констатировать, что для горных озер положение береговой линии остается постоянным в течение длительных периодов (столетий).

В отличие от горных озер озера равнин подвержены интенсивным динамическим преобразованиям. Распределение глубин у дельтовых и конечных озер характеризуется постепенным нарастанием. Прибрежные зоны занимают значительную площадь (до 70%). Область максимальных глубин может быть смещена в какую-либо зону озера в связи с тем, что чаще всего она приходится на древние русла реки или рукавов.

Для стариц характерны подковообразные и дугообразные фор-

мы, при этом область наибольших глубин имеет вид борозды по длине озера с прижатием наибольших глубин к выпуклому берегу. Нередко может наблюдаться резкое увеличение глубин: до 1 м — 10%, до 2 м — 50%, до 3 м — 70%. Берега озер песчаные, субпесчаные и суглинистые, часто подвержены интенсивному зарастанию, в связи с чем акватория озера выражена нечетко и трудно определить современные границы берегов. С сокращением притока воды в низовья рек и потери связи озер с рекой наблюдается падение уровня, интенсивное зарастание берегов и сглаживание контуров озер. Нередко можно наблюдать зарастание водоемов и трансформацию их в болота до полного исчезновения.

Чаши озер заполнены минеральными и органическими донными отложениями, при этом мощность отложений может составлять несколько метров, в связи с чем ложе котловин озер имеет сглаженные формы. Отложения формируются главным образом из остатков высших и низших растений и минеральных веществ.

В отличие от горных озер водная поверхность и береговая линия равнинных озер подвержены существенным динамическим изменениям, в связи с чем недоучет изменения площади зеркала даже за непродолжительные промежутки времени (десятилетие, пятилетие) может привести к существенным погрешностям в оценке распространения числа, морфометрических характеристик и водных ресурсов озер.

Рассмотрев распространение и типизацию озер Средней Азии и проведя анализ морфометрических характеристик, можно сделать следующие выводы:

1. Озера Средней Азии следует подразделять на две категории — озера равнинных и горных территорий.

2. Абсолютное большинство горных озер представлено водоемами малых форм с малым коэффициентом развития акватории, береговой линии и показателем формы озерной котловины. Это компактные, слабоудаленные, высоководообменные ($k_1 > 100$; $k_2 > 5$), ледниковые, каровые, моренные, провальные и завальные озера.

3. Ко второй категории относятся наиболее крупные тектонические и завальные озера, отличающиеся значительными глубинами, реже мелководьем, сложной конфигурацией водной поверхности, большими значениями коэффициентов развития, удлиненности и формы озерной котловины, слабой и средней водообменностью $k_1 < 10$ и $k_2 < 1$; $10 < k_1 < 100$ и $1 < k_2 < 5$. Сюда относятся Каракуль, Сарезское, Яшилкуль, Сарычелек, Искандеркуль, Сонкуль и ряд других.

4. Озера равнинных территорий, представленные старицами, дельтовыми и конечными озерами, как правило, имеют слабую водообменность, значения коэффициентов относительной глубины наименьшие, коэффициент развития береговой линии и формы котловин значительны, недоучет факторов динамики озерных площадей может привести к большим погрешностям в оценке водных ресурсов.

5. Генетически однотипным озерам присущи определенные закономерности в форме водной поверхности, конфигурации берегов, форме чаш, распределении глубин, характеристиках удельного водосбора и условного водообмена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский Б. Б. Озероведение. МГУ, 1960, с. 24—47.
2. Верещагин Г. Ю. Методы морфометрической характеристики озер.—«Тр. Олонецкой научн. экспедиции», 1930, ч. II, вып. 1. 114 с.
3. Григорьев С. В. Опыт гидрологической типологии озер Латвийской ССР.—«Тр. ин-та биологии АН ЛатвССР, 1958, т. VII, с. 245—258.
4. Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении.—«Тр. Карельского филиала АН СССР», 1959, вып. XVIII, с. 29—45.
5. Григорьев С. В., Грицевская Г. Л. Каталог озер Карелии. Л., Изд-во АН СССР. 239 с.
6. Иванов П. В. Классификация озер мира по величине и средней глубине.—«Бюлл. ЛГУ», 1949, № 21.
7. Кавказ. Природные условия и естественные ресурсы СССР. М., Изд-во АН СССР, 1966, с. 155—158.
8. Молчанов Л. А. Озера Средней Азии.—«Тр. САГУ», 1929, сер. 12а, геогр., вып. 3. 82 с.
9. Муравейский С. Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер. Реки и озера М., 1960, с. 91—125.
10. Никитин А. М. О динамике озер среднего и нижнего течения р. Сырдарьи.—См. наст. сборник.
11. Никитин А. М., Бондарь В. А. О динамике озер дельты р. Амударьи.—«Тр. САНИГМИ», 1975, вып. 25(106), с. 79—90.
12. Первухин М. А. О генетической классификации озерных ванн.—«Землеведение», 1937, № 6.
13. Рейзвих В. Н., Никитин А. М. К вопросу о географическом распространении и типизации озер Средней Азии.—«Сб. работ ТГМО», 1968, вып. III, с. 3—20.
14. Резвих В. Н., Никитин А. М., Абраменков Н. М. Водные ресурсы горных озер Средней Азии.—«Тр. САНИГМИ», 1972, вып. 62(77), с. 17—29.
15. Стариков К. З. Морфометрия озер. Сб. «Озера Северного Казахстана». Алма-Ата, 1960, с. 5—21.
16. Филонец П. П., Омаров Т. Р. Озера Центрального и Южного Казахстана. Справочник, Алма-Ата, 1973, 197 с.
17. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Л., Гидрометеиздат, 1965, с. 305—685.