

# «Гидрология озер»

Александрова А.Э.  
Школа №1499 ДО 6

Москва

## 7.1. ОЗЕРА И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ

*Озеро* — естественный водоем суши с замедленным водообменом. Как правило, озера обладают выработанными под воздействием ветрового волнения берегами. Озера не имеют прямой связи с океаном.

Для образования озера необходимы два неперенных условия — наличие естественной котловины, т. е. замкнутого понижения земной поверхности, и находящегося в этой котловине определенного объема воды.



Озеро  
Манасаровар  
  
Западный  
Тибет, Тибет.

Озера распространены на поверхности суши повсеместно. Наибольшая озерность (отношение площади озер к общей площади суши) характерна для увлажненных районов древнего оледенения (север Европы, Канада, север США). Много озер в районах многолетней мерзлоты, в некоторых засушливых районах внутреннего стока (юг Западной Сибири, Северный Казахстан), на поймах и в дельтах рек. Озерность Финляндии составляет 9,4 %, Швеции — 8,6 %. В России озер больше всего на Кольском полуострове (6,3 % территории), в Карелии и на Северо-Западе Европейской части (5,4 %), в Западно-Сибирской низменности (4,3 %). Озерность всей России около 2,1 %. Наибольшее число крупных озер с площадью более 100 км<sup>2</sup> находится в Африке, Азии и Северной Америке. В 1945 самых крупных озерах земного шара сосредоточено 168 тыс. км<sup>3</sup> воды, т. е. около 95% объема всех озер на Земле .

Сумерки на озере Тахо,  
Калифорния, США.



# Важнейшие озёра России и мира.

Часть света	Озеро	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>	Наибольшая глубина, м
Европа	Каспийское море ** 16	392 600 <sup>2</sup>	78 650 <sup>3</sup>	1025
	Ладожское *	17 700	908	230
	Онежское *	9630	295	127
	Венерн	5550	180	100
	Чудское с Псковским**	3550	25	15
Азия	Белое *	1290	5,2	20
	Аральское море 1,8	67 000 <sup>5</sup>	1080	40
		18000	128	47
	Байкал *	31 400	23 000	1636
	Балхаш <sup>1,6</sup>	18 200	112	26
	Тонлесап	10 000 <sup>4</sup>	40	12
	Иссык-Куль <sup>1,6</sup>	6200	1730	702
	Таймыр *	4560	13	26
	Ханка **	4190	18,5	10,6
	Чаны <sup>1,6</sup>	2500	4,3	10
Африка	Виктория	69 000	2700	92
	Танганьика	32 900	18 900	1435
	Ньяса	30 900	7725	706
	Чад <sup>1,6</sup>	16 600 <sup>5</sup>	44,4	12
	Туркана (Рудольф) 1,6	6750	203,6	109
	Альберт	5300	64	57
	Верхнее	82 680	11 600	406
Северная Америка	Гурон	59 800	3580	229
	Мичиган	58 100	4680	281
	Большое Медвежье	30 200	1010	137
	Большое Невольничье	27 200	1070	156
	Эри	25 700	545	64
	Виннипег	24 600	127	19
	Онтарио	19 000	1710	236
Южная Америка	Маракайбо <sup>9</sup>	13 300	—	35
	Титикака	8110	710	230
Австралия	Эйр <sup>1,7</sup>	9690	30,1	27,7

Примечания. Большинство сведений приведено по монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974) с уточнениями автора; новые данные по Байкалу — согласно М. Н. Шимараеву, В. И. Верболову, Н. Г. Гранину, П. П. Шерстянкину (1994); \* — озера на территории России; \*\* — пограничные озера, их большая часть относится к России; <sup>1</sup> озеро бессточное; <sup>2</sup> при уровне -27 м БС, близком к современному; <sup>3</sup> в числителе до 1960-х гг. XX в., в знаменателе в 2002 г.; <sup>4</sup> при низких уровнях 3000 км<sup>2</sup>, высоких 30 000 км<sup>2</sup>; <sup>5</sup> при низких уровнях 7000—10 000, высоких 18 000—22 000 км<sup>2</sup>; <sup>6</sup> вода солоноватая; <sup>7</sup> вода соленая; <sup>8</sup> вода гиперсоленая (рассол); <sup>9</sup> озеро — лагуна. Прочерк означает отсутствие данных.

**В пресных озерах России сосредоточено 26 500 км<sup>3</sup> воды; причем только в восьми крупнейших пресных озерах (Байкал, Ладожское, Онежское, Чудское с Псковским, Таймыр, Ханка, Белое) находится 24 250 км<sup>3</sup> воды (91,5 %). На долю Байкала приходится 86,8% запасов пресных вод в озерах России и более 25 % запасов вод во всех пресных озерах мира. Байкалу по запасу пресной воды уступают все озера Земли, в том числе Танганьика — 21 % и Верхнее — 13 % объема воды в пресных озерах планеты.**



Озеро Байкал

Закат над Онежским озером



## 7.2. ТИПЫ ОЗЁР

Озера подразделяют по размеру, степени постоянства, географическому положению, происхождению котловины, характеру водообмена, структуре водного баланса, термическому режиму, минерализации вод, условиям питания водных организмов и др.

По размеру озера подразделяют на *очень большие* площадью свыше 1000 км<sup>2</sup>, *большие* — площадью от 101 до 1000 км<sup>2</sup>, *средние* — площадью от 10 до 100 км<sup>2</sup> и *малые* — площадью менее 10 км<sup>2</sup>.

По степени постоянства озера делят на *ПОСТОЯННЫЕ* и *ВРЕМЕННЫЕ* (эфемерные). К последним относятся водоемы, которые заполняются водой лишь во влажные периоды года, а в остальное время пересыхают, а также некоторые термокарстовые озера, теряющие воду в летний период.

По географическому положению озера подразделяют на *ИНТРАЗОНАЛЬНЫЕ*, которые находятся в той же географической (ландшафтной) зоне, что и водосбор озера, и *ПОЛИЗОНАЛЬНЫЕ*, водосбор которых расположен в нескольких географических зонах. Малые озера на равнинах, как правило, интразональны, крупные озера обычно полизональны. Полизональны также и горные озера, водосбор которых расположен в нескольких высотных ландшафтных зонах.

Группа интразональных  
болотно-озерно-речных  
(арвикулярных) очагов



Озеро Балхаш относится к  
полюзональным озёрам.



По происхождению озерные котловины могут быть тектонические, вулканические, метеоритные, ледниковые, карстовые, термокарстовые, суффозионные, речные, морские, эоловые, органические. Такое же название дают и озерам, находящимся в этих котловинах.

**Тектонические котловины** располагаются в крупных тектонических прогибах на равнинах (озера Ладожское, Онежское, Ильмень, Верхнее и др.), в крупных тектонических предгорных впадинах (оз. Балхаш), в местах крупных тектонических трещин — рифтов, сбросов, грабенов (озера Байкал, Танганьика, Ньяса и др.). Сложную, но безусловно тектоническую природу имеет впадина, где расположено Каспийское море. В формировании котловины Аральского моря помимо тектонического фактора, как полагают, важную роль играло выдувание, т. е. ветровая эрозия. Большинство крупных озер земного шара имеют котловины тектонического происхождения.



Ладожское озеро



**Вулканические котловины** расположены либо в кратерах потухших вулканов (некоторые озера в Италии, на о. Ява, в Японии и т. д.), либо образовались вследствие подпруживания рек продуктами вулканизма — лавой, обломками породы, пеплом (оз. Кроноцкое на Камчатке или оз. Киву в Африке).

**Метеоритные котловины** возникли в результате падения метеоритов (оз. Каали в Эстонии).

**Ледниковые котловины** образовались в результате деятельности современных или древних ледников. Ледниковые озерные котловины подразделяют на **троговые**, связанные с «выпахивающей» работой ледников (оз. Женевское, многие озера в Скандинавии, в Карелии, на Кольском полуострове); каровые, расположенные в карах (горные озера в Альпах, на Кавказе); моренные, сформировавшиеся среди моренных отложений. Троговые и каровые котловины созданы эрозионной, моренные — аккумулятивной деятельностью ледников. К ледниковым озерам относятся также специфические озера (часто временные), образовавшиеся в результате подпруживания рек ледником или возникающие на теле самого ледника. Ледниковые озера, возникшие в результате моренно-аккумулятивной деятельности ледника или в результате подпруживания рек самим ледником, можно назвать приледниковыми, а возникшие на теле ледника — **надледниковыми**.



Голубое озеро в Японии на острове Хоккайдо вулканического происхождения.

Озеро Каали (метеоритный кратер Каали) в Эстонии.





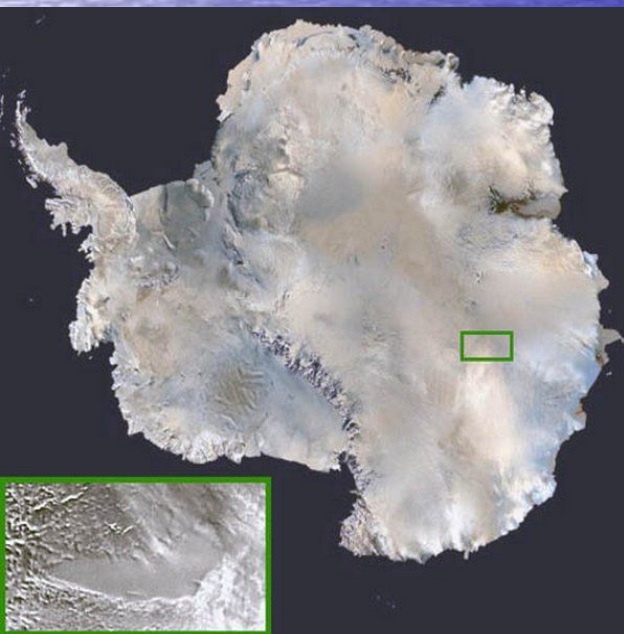
Женевское озеро (Lac Léman) - самое большое в Центральной Европе (троговое). Находится в Швейцарии.

Лазурное озеро в Альпах (каровое).

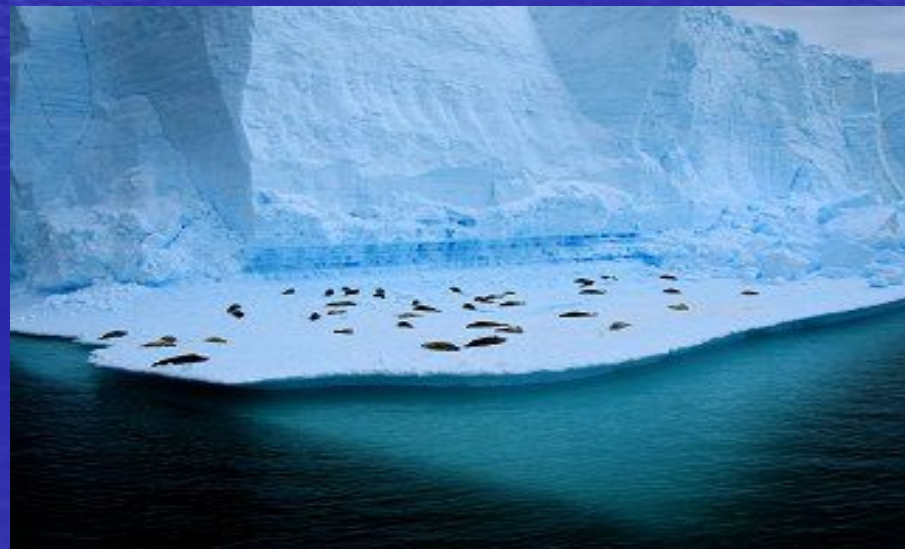


Особую категорию ледниковых озер составляют еще мало изученные озера, расположенные в районах покровного оледенения, например в Антарктиде. В Антарктиде в последние десятилетия открыто и обследовано огромное количество больших и малых озер, имеющих разную площадь, температуру и минерализацию воды, ледовый режим (есть озера, вскрывающиеся в летний период или всегда находящиеся подо льдом). Примером такого подледникового озера служит оз. Восток, открытое недавно вблизи российской станции «Восток» в Антарктиде. Зеркало этого озера находится ниже поверхности ледникового щита приблизительно на 3800 м. Озеро Восток — одно из крупнейших в мире: оно имеет площадь более 10 000 км<sup>2</sup>, длину 250 км, ширину 50 км, глубину 750 м. Вода в озере находится в жидком состоянии благодаря потоку геотермической теплоты из недр Земли.

Место расположение озера Восток в Антарктиде.



Озеро Восток, скрытое под четырехкилометровой толщей льда.



***Карстовые котловины*** образуются в районах залегания известняков, доломитов и гипсов в результате химического растворения этих пород поверхностными и в особенности подземными водами. Образующиеся в районах карстовых просядок или в карстовых пустотах и пещерах озера могут быть, таким образом, как поверхностными, так и подземными. Таких озер много на Урале, Кавказе, в Крыму.



Озеро Аракуль, Урал.

Крым - вид на розовое озеро



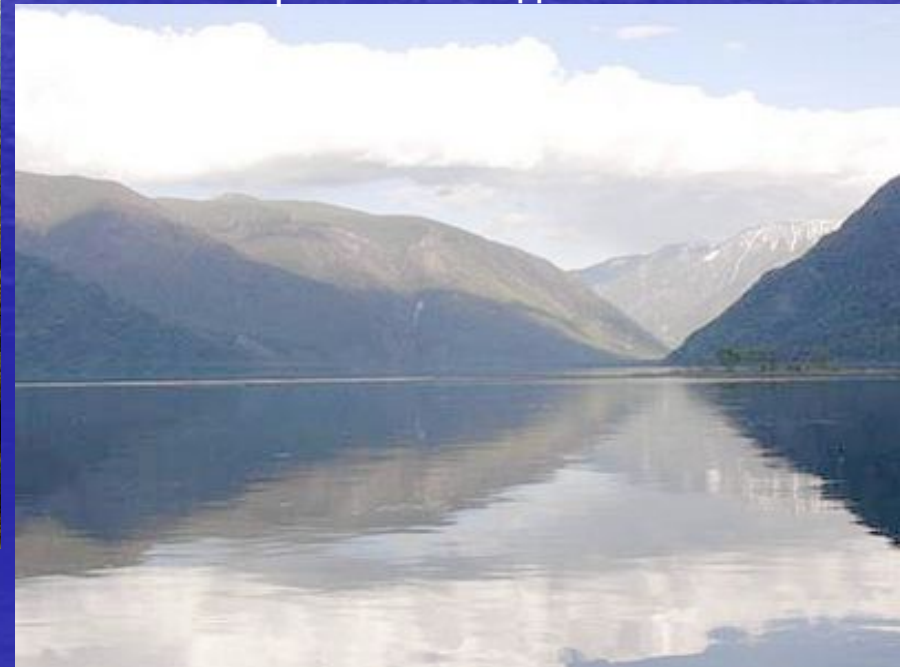
**Термокарстовые котловины** образуются в районах распространения многолетнемерзлых грунтов в результате их протаивания и сопутствующей просадки грунта (небольшие озера в тундре и тайге).

**Суффозионные котловины** возникают в результате просадок, вызванных вымыванием подземными водами из грунта мелких частиц и цементирующих веществ (такие небольшого размера озера характерны для степных и лесостепных районов, например на юге Западной Сибири).

Телецкое озеро (Алтын Кол, Золотое озеро) расположено на северо-востоке Горного Алтая, на стыке с хребтом Западный Саян.



Курайский хребет и множество озёр, разбросанных в горной тундре.



**Котловины речного происхождения** связаны с эрозионной и аккумулятивной деятельностью рек. Это разнообразные по генезису пойменные водоемы (старицы, промоины, небольшие озера), дельтовые и придельтовые водоемы, плесы пересыхающих рек и др. На реках возникают и так называемые долинные котловины, образующиеся либо в результате горных обвалов (завальные котловины озер Сарезского на р. Мургаб, Геюгель на р. Аксу в Азербайджане и др.), либо в результате подпруживания рек конусами выноса боковых притоков (часто в результате селевых паводков).



Озеро в верховьях р. Аксу.

Район Сарезское озеро, расположено на Памире, Таджикистан.



**Котловины морского происхождения** связаны либо с подпорным влиянием моря (лиманы, образовавшиеся в результате затопления речных долин после повышения уровня моря), либо с отчленением от берега аккумулятивными косами и барами небольших морских акваторий (лагуны). Обычно, однако, эти водоемы не относят к озерам, а рассматривают либо как части устьевых областей рек, либо как части морских акваторий.



Чаша, в которой расположился Мексиканский залив, представляет собой центральную котловину, к которой полого опускается материковый шельф.

Солевые образования в лагунах Мёртвого моря.





**Эоловые котловины** образуются в понижениях между песчаными дюнами и превращаются в озера в результате затопления их речными или морскими водами. Эоловые озера встречаются вблизи морских берегов, в дельтах рек (например, Волги, Или, Дуная).

**Органогенные котловины** формируются в болотах, а возникающие при этом водоемы называют болотными озерами и



Озеро, которое формируется, в широкой излучине ручья или реки.



Озеро Жувинтас

(на юге Литвы в Алитусском районе, большая часть которого заросла, превратившись в болото-торфяник)

По характеру водообмена озера подразделяют **на сточные и бессточные**. Первые из них сбрасывают по крайней мере часть поступающего в них речного стока вниз по течению (примером могут служить такие озера, как Байкал, Онежское, Ладожское и многие другие). Частным случаем сточных озер являются проточные озера, через которые осуществляется транзитный сток реки; к таким водоемам относятся озера Чудское с Псковским (р. Великая), Сарезское (р. Мургаб), Боденское (р. Рейн), Женевское (р. Рона). Бессточными считают озера, которые, получая сток извне, расходуют его лишь на испарение, инфильтрацию или искусственный водозабор, не отдавая ничего в естественный или искусственный водоток. Иначе говоря, из таких водоемов поверхностный сток отсутствует (примерами могут служить Каспийское и Аральское моря, озера Иссык-Куль, Балхаш, Чад и др.).

Каспийское и Аральское моря согласно определению с научной точки зрения должны считаться именно бессточными озерами (связи с океаном в современную геологическую эпоху они не имеют). Однако благодаря их большим размерам и режиму, сходному с морским, эти водоемы условно называют морями

Боденское озеро  
в Германии.



Каспийское и  
Аральское моря.

## 7.3.МОРФОЛОГИЯ И МОРФОМЕТРИЯ ОЗЁР

Во всех озерах более или менее четко выделяют основные морфологические элементы: **КОТЛОВИНУ**, т. е. естественное понижение земной поверхности самого различного происхождения , в пределах которого и расположено озеро; **ложе** (или **Чашу**) озера, непосредственно занятое водой.

Важным элементом озерной котловины является **береговая область**, которая при абразионном характере берега включает береговой уступ, побережье и береговую отмель. Последние два элемента озерной котловины часто называют **литоралью**, к характерным чертам которой относятся мелководность и воздействие волнения. За пределами литорали находится подводный откос (или **сублитораль**). Глубоководная часть озера — это **пелагиаль**; дно озера называют **профундалью**.

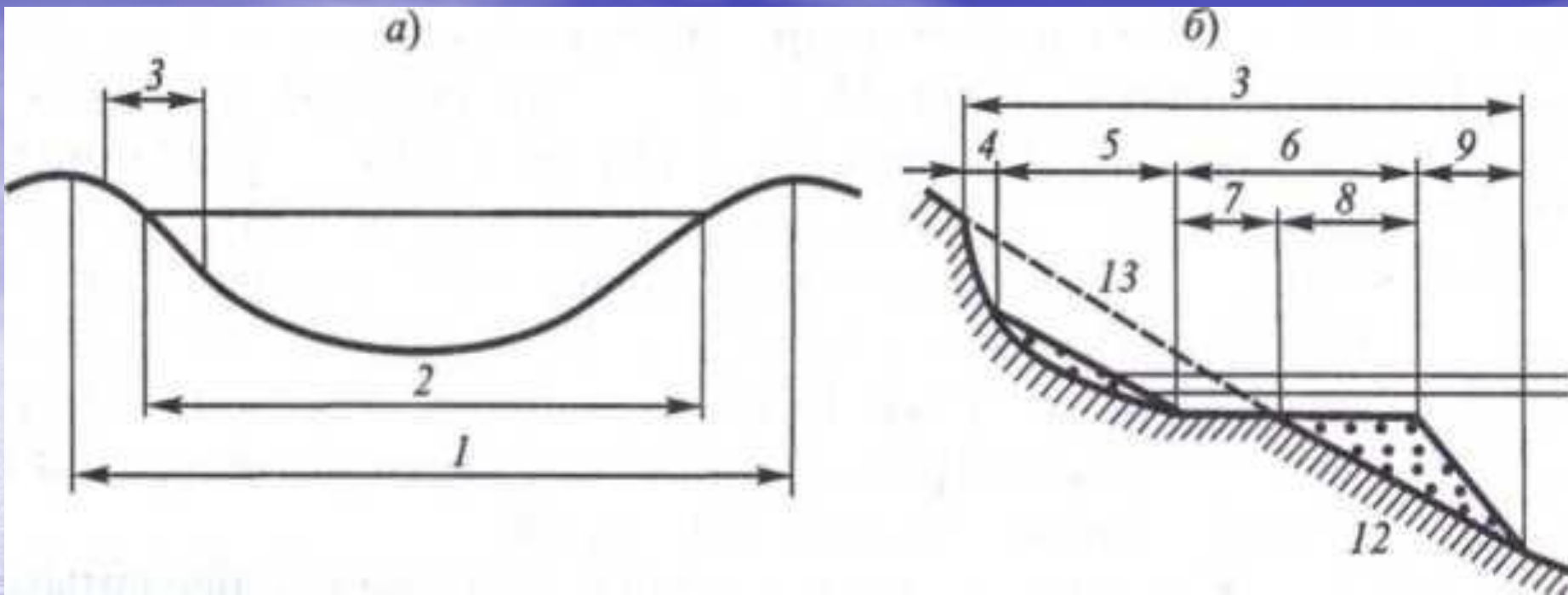


Схема озерной котловины (а) и ее береговой области (б)

**1**—котловина;

**2** —ложе (чаша);

**3**—береговая область;

**4**—береговой уступ;

**5**—побережье;

**6** — береговая отмель;

**7-8**-абразионная и аккумулятивная части

береговой отмели

**9**-подводный откос ;

**10-11**-низший и высший уровни воды;

**12**-коренные породы;

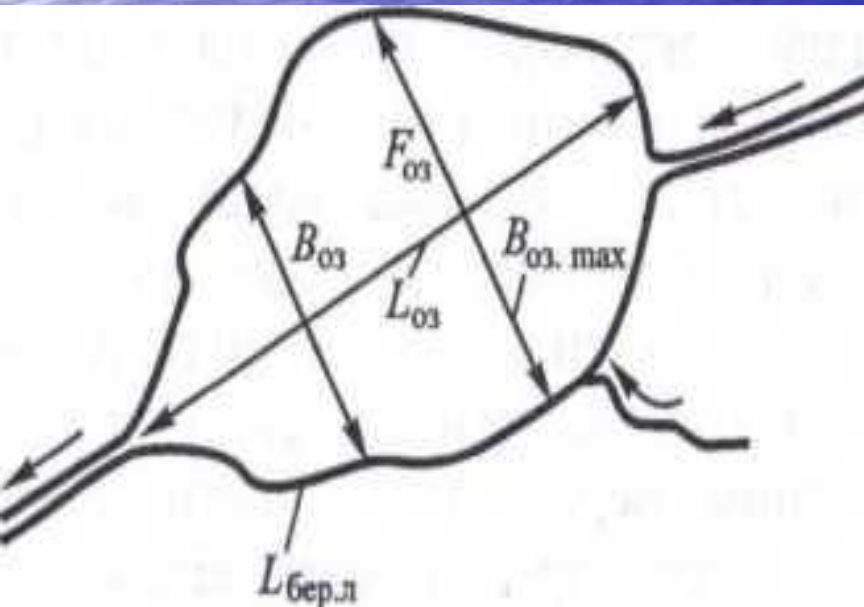
**13**- начальный профиль берега

Развитие высшей растительности (макрофитов), как правило, ограничено литоралью.

В пределах озера выделяют также такие морфологические элементы, как **плесы, заливы, бухты**.

Основными морфометрическими характеристиками озера служат : площадь озера  $F_m$ ; объем воды в озере  $V_{оз}$ ; длина береговой линии  $Z_{бер.л}$ , проведенной по урезу воды; длина озера  $L_m$  — кратчайшее расстояние по поверхности воды вдоль оси озера между наиболее удаленными точками береговой линии; ширина озера  $B_r$  — расстояние между противоположными берегами озера, измеренное по линии, перпендикулярной оси озера в любой его части. Наибольшее значение последней величины называют максимальной шириной озера  $B_{плх}$ . Среднюю ширину озера вычисляют по формуле

$$B_{оз. ср} = F_{оз} / L_{оз}$$



Важными морфометрическими характеристиками озера являются его **глубина  $H_{оз}$**  (в разных частях озера она различна), **максимальная глубина  $L_{оз. max}$** , **средняя глубина  $L_{оз. ср}$** , определяемая по формуле  $K^{\wedge} = VJF_m$ .

Все перечисленные выше морфометрические характеристики озера зависят от высоты стояния уровня воды в нем или от выбранного в толще воды отсчетного горизонта (или глубины). Наиболее важно знать, как изменяются с изменением уровня (или глубины) такие характеристики, как площадь озера, объем воды в нем, средняя и максимальная глубина. Связи соответствующих характеристик с уровнем (глубиной) называют **кривой площадей, кривой объемов и кривой средних глубин**. Характер упомянутых кривых зависит от формы ложа озера.

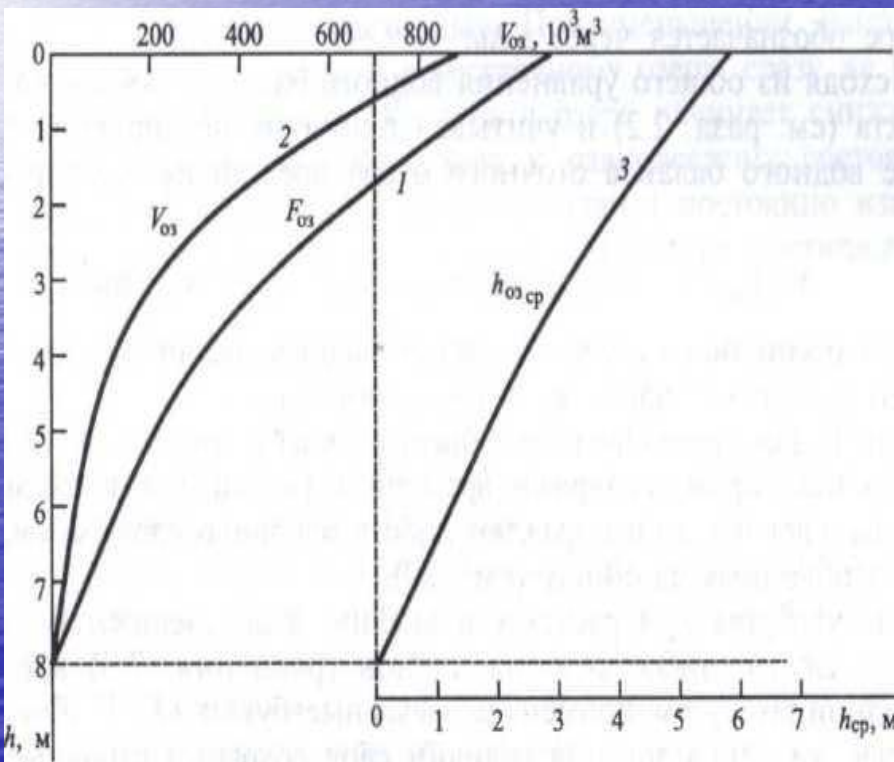


Рис. 7.3. Кривые площадей (1), объемов (2) и средних глубин (3) озера

Кривая площадей показывает, какая площадь поверхности озера соответствует данной высоте стояния уровня или глубине, кривая объемов показывает, какой объем воды находится ниже любого заданного уровня (или глубины). Эти две кривые широко используют при расчетах многих гидрологических процессов, происходящих в озерах и зависящих от высоты стояния уровня воды,— элементов водного баланса озера и, в частности, потерь воды на испарение с поверхности озера, характеристик водообмена, регулирующей роли водоема.

## 7.4. ВОДНЫЙ БАЛАНС ОЗЕР

### 7.4.1. Уравнение водного баланса озера

Составляющими приходной части уравнения водного баланса любого озера служат *атмосферные осадки  $x$ , поверхностный приток  $-u_{\text{пов,пр}}$ , конденсация водяного пара на поверхность озера  $z_{\text{конд}}$ , подземный приток  $W_{\text{пр}}$* . Поверхностный приток может быть как естественным (речной сток  $-u_{\text{пр}}$ ), так и антропогенным (сброс отработанных вод, например возвратных вод орошения, а также промышленных и коммунальных сточных вод,  $-u_{\text{сбр}}$ ).

Составляющие расходной части уравнения водного баланса сточного озера — это *поверхностный отток из озера  $u_{\text{повст}}$ , подземный отток (фильтрация) из озера  $w_{\text{ст}}$ , испарение с поверхности озера  $z_{\text{исп}}$* .

Поверхностный отток складывается из стока вытекающей из озера реки  $u_{\text{ст}}$  и искусственного водозабора на хозяйственные нужды  $u_{\text{тзб}}$  (на орошение, водоснабжение и т. д.). Изменение запасов воды в озере обозначается через  $\pm \Delta u$ .

$$X + u_{\text{пр}} + u_{\text{сбр}} + z_{\text{конд}} + W_{\text{пр}} = u_{\text{ст}} + u_{\text{вдзб}} + z_{\text{исп}} + W_{\text{ст}} \pm \Delta u$$

Для бессточного озера уравнение водного баланса будет таким же, но только без члена  $u_{\text{ст}}$  в расходной части.



Если члены уравнения представлены в объемных единицах, то  $\pm \Delta U$  в уравнении — это не что иное, как изменение объема вод в озере (т. е.  $\pm \Delta V$ ) за интервал времени  $\Delta t$ . Если же члены уравнения заданы в величинах слоя, то  $\pm \Delta u$  — это не что иное, как изменение уровня воды в озере (т. е.  $\pm \Delta H$ ) за тот же интервал времени  $\Delta t$ . Для озер изменения уровня (а также слоев стока, осадков, испарения) обычно задают в сантиметрах. Тогда пересчет изменения объема озера  $\Delta V$  в изменение его уровня осуществляют по формуле  $\Delta H = k_2 \Delta V / F$ , где  $\Delta H$  в см,  $\Delta V$  в км<sup>3</sup>,  $F$  в км<sup>2</sup> и  $k_2 = 10^5$ .

Когда сумма приходных членов уравнения превышает сумму расходных, то  $\Delta u > 0$ , и объем вод в озере увеличивается ( $\Delta V > 0$ ), а его уровень повышается ( $\Delta H > 0$ ); когда же приходная часть уравнения меньше расходной, то  $\Delta u < 0$ , и объем вод в озере уменьшается ( $\Delta V < 0$ ), а уровень воды в нем понижается ( $\Delta H < 0$ ).

При анализе водного баланса бессточных озер нередко используют понятие *уровень равновесия* или *уровень тяготения*. Это тот уровень, при котором приходные составляющие водного баланса бессточного озера равны расходным. При уменьшении, например, речного стока, поступающего к бессточному озеру, сразу же изменяется уровень равновесия. Уровень в озере начинает снижаться, приближая водный баланс водоема к равновесному состоянию. Поскольку все составляющие водного баланса постоянно изменяются, уровень равновесия практически никогда не достигается.

## 7.4.2. Структура водного баланса озера

Под **структурой водного баланса** любого водоема понимают соотношение между различными приходными и расходными составляющими уравнения водного баланса.

Для характеристики структуры приходной и расходной частей уравнения водного баланса водоема К. К. Эдельштейн предложил учитывать соответственно долю осадков и испарения в обеих частях уравнения.

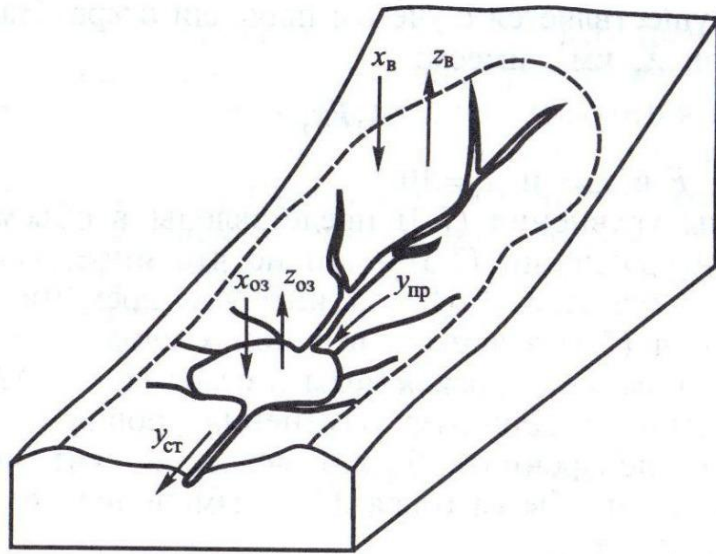


Рис. 7.4. Простейшая схема формирования водного баланса сточного озера со стабильным уровнем воды

Уравнение водного баланса такого озера с неизменным уровнем воды (рис. 7.4) будет выглядеть в объемных единицах следующим образом:

$$X_{\text{оз}} + Y_{\text{пр}} = Y_{\text{ст}} + Z_{\text{оз}}$$

т. е. объемы осадков на поверхность озера и притока к озеру, с одной стороны, и речного стока из озера и испарения с его поверхности, с другой, равны.

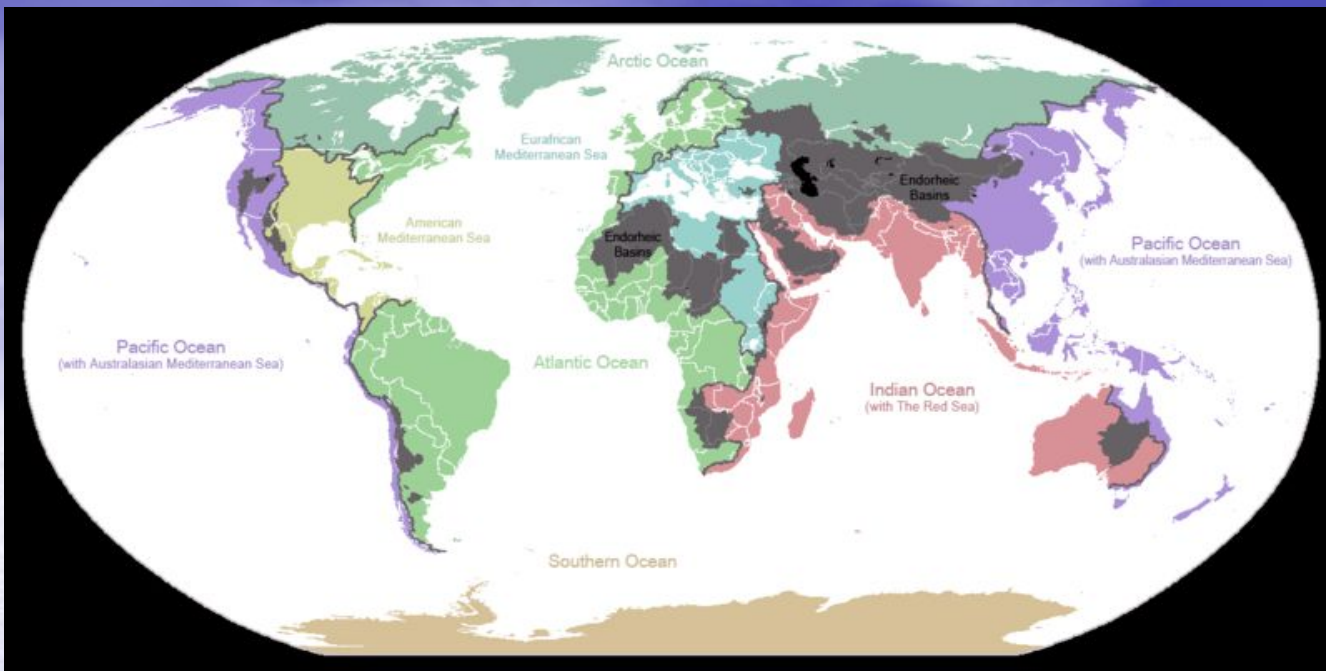
Из уравнения водного баланса можно установить условие существования бессточного озера. Приняв  $\Delta = 0$ , получим  $X_{оз} + Y_{пр} = Z_{оз}$  или  $X_{оз} F_{оз} + Y_B F_B = Z_m F_m$ . Из уравнения водного баланса водосбора  $X_B = Y_B + Z_B$  найдем  $Y_B = X_B - Z_B$ . Тогда получим  $X_m F_m + (X_B - Z_B) F_B = Z_m F_m$ , откуда  $(Z_{оз} - X_{оз}) F_{оз} = (X_B - Z_B) F_e$  или

$$\frac{Z_{оз} - X_{оз}}{X_B - Z_B} = \varphi.$$

$\varphi$  — так называемый **удельный водосбор**

**Водосборный бассейн** — это территория земной поверхности, с которой все поверхностные и грунтовые воды стекают в данный водоём, включая различные его притоки. Чаще всего речь идёт о бассейнах рек, озёр. Бассейн каждого водоёма включает в себя поверхностный и подземный водосборы.

**Удельный водосбор** — это отношение площади водосбора ( $F$ ) к площади водного зеркала озера ( $S$ ):  $DF = F/S$ .



## Карта водосборных бассейнов Мирового океана

С ростом удельного водосбора для существования бессточного озера должно пропорционально возрастать отношение избытка испарения над осадками на поверхности озера к избытку осадков над испарением на водосборе. Иначе говоря, в увлажненных районах бессточные озера могут существовать лишь при малых значениях  $\phi$ , а в засушливых — при больших значениях  $\phi$ , причем чем засушливее район, тем больше должна быть величина  $\phi$ .

По соотношению составляющих расходной части уравнения водного баланса все озера, согласно Б. Б. Богословскому, подразделяются на две группы: *стоковые С* и *испаряющие И*.

У озер первой группы сток превышает испарение с их поверхности:  $Y_{CT} > Z_{02}$  у озер второй группы  $Y_{CT} < Z_m$ . По соотношению составляющих приходной части уравнения водного баланса озера обеих групп подразделяют на три типа: **приточные П**, когда приток с водосбора

преобладает над осадками ( $Y_{v} > X_r$ ), **нейтральные Н**, когда  $Y_{v} \sim X_m$  и **дождевые Д**, если осадки преобладают над притоком ( $Y_{p} < X_m$ ).

Стоковые озера характерны для зон достаточного и избыточного увлажнения, испаряющие — для зон недостаточного увлажнения. Тип же озера зависит от величины удельного водосбора: к нейтральному и дождевому типам относятся, как правило, озера с малой величиной ф.

**Озеро Лагарима, также известное как Исчезающее Озеро, расположено на дороге к побережью, всего нескольких милях от приморского города Бэлликасла в Ирландии. Озеро расположилось на просевшей меловой платформе, на дне которой находится дыра, часто забитая торфом.**



**Озеро может очень быстро заполниться, особенно во время проливного дождя**



**Когда подводящий подземный колодец очищается, озеро может в считанные минуты исчезнуть под землю**



## 7.4.3. Водообмен в озере

Показателем водообмена в озере, или интенсивности водообмена (смены) вод в озере, служит так называемый **коэффициент условного водообмена**, который для озер чаще всего выражают формулой

$$K_B = (Y_{пр} + X) / Y = (Y_{от} + Z) / V, \quad \text{где } V \text{— объем озера.}$$

Иногда коэффициент условного водообмена в озере определяют иначе:  $K'_B = Y_{пр} / V$  или  $K'^{\wedge} = Y_{от} / V$ .  $K'_B$  характеризует относительную роль притока речных вод в водообмене,  $K'^{\wedge}$  — относительную роль оттока речных вод. Для бессточных озер  $K'_B = 0$ . Если составляющие водного баланса озера представлены в км<sup>3</sup>/год, то величина  $1/K'_B$  численно равна **периоду условного водообмена (водообновления)**, выраженному в годах.

Наиболее общая закономерность, свойственная водообмену озера, следующая: **чем меньше объем озера, тем при прочих равных условиях коэффициент водообмена больше.**

## 7.5. КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ОЗЕРАХ

**Колебания уровня воды** — это главнейшая характеристика режима озера.

У озер водным режимом считаются закономерные изменения уровня воды, площади, объема вод, а также характеристик течений и волнения. Водный режим озера вместе с изменениями ледотермических, гидрохимических, гидробиологических и других характеристик озера формирует совокупность закономерных изменений всех компонентов озера, называемую **гидрологическим режимом**.

Колебания уровня воды в озерах во многом определяют и возможности хозяйственного использования водоемов, так как от высоты стояния уровня зависит эффективность работы водного транспорта, надежность водозабора на орошение, промышленное и коммунальное водоснабжение .

Колебания уровня воды в озерах по причинам, вызывающим их, могут быть подразделены на две группы:

1. колебания уровня, связанные с изменением объема (массы) воды в озере и определяемые в основном изменениями составляющих водного баланса водоема (такие колебания уровня иногда называют **объемными** или **водно-балансовыми**)



Колебания уровня первой группы связаны прежде всего с климатическими причинами и, в частности, с обусловленными климатом изменениями приходных составляющих водного баланса (притока речных вод, осадков на поверхность озера). Поскольку речной сток и увлажнение территории в целом подвержены климатически обусловленным вековым, многолетним и сезонным колебаниям, аналогичные колебания имеет и уровень воды в озерах. В последние 40—50 лет в связи с антропогенными изменениями стока рек в объемных колебаниях уровня озер заметное влияние приобрел и антропогенный фактор.

2. колебания уровня, не связанные с изменениями объема вод в озере, а определяющиеся перераспределением неизменного объема по пространству озера (такие колебания уровня часто называют **деформационными**).

Колебания уровня второй группы связаны прежде всего с так называемыми **сгонно-нагонными денивеляциями уровня**, обусловленными ветром. Такие колебания имеют кратковременный характер.

# Вековые и многолетние колебания уровня озер

Колебания уровня озер вековые и многолетние — наиболее яркое проявление гидрологического режима водоемов; они же оказывают и наиболее сильное (нередко неблагоприятное) воздействие на хозяйственное использование озер и сопредельных территорий. Как уже отмечалось, основная причина таких колебаний — климатическая, поэтому изучение вековых и многолетних колебаний уровня озер может служить и косвенным доказательством существования климатических изменений увлажненности территорий.

Общеизвестны вековые и многолетние колебания уровня Каспийского и Аральского морей, обусловленные как климатическими, так и антропогенными факторами, и других бессточных озер.

Обращает на себя внимание факт снижения уровня многих бессточных озер в последние 100—200 лет, что, по-видимому, связано с общим уменьшением увлажненности материков.

Сугубо антропогенным было снижение уровня оз. Севан: уровень был понижен на 18 м для увеличения гидроэнергетического

потенциала р. Раздан, вытекающей из озера, а также для сокращения площади мелководной части озера с целью уменьшения потери воды на испарение.

**Вековые и многолетние колебания уровня наиболее заметны у бессточных озер, находящихся в аридных районах (Каспийское и Аральское моря, оз. Балхаш и др.). Объясняется это тем, что при изменении степени увлажненности больших территорий приток речных вод к озеру и потери с его поверхности на испарение изменяются почти в противофазе: в засушливые периоды в озеро поступает мало стока, а потери на испарение наибольшие, во влажные периоды поступление стока и осадков на поверхность озера увеличивается, а потери на испарение несколько уменьшаются.**

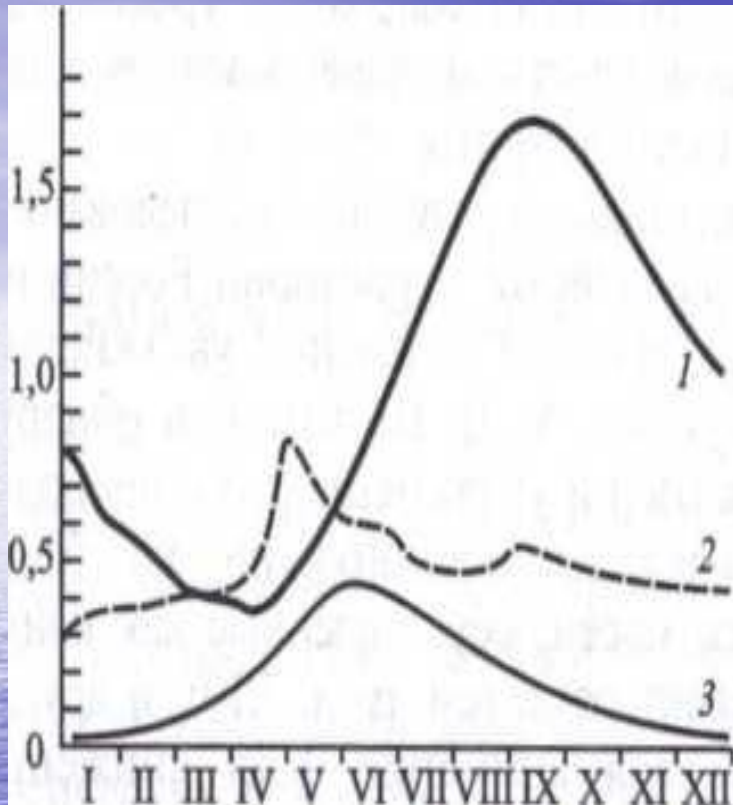
Озеро Севан



Озеро Балхаш из самолета, Казахстан.



# Сезонные колебания уровня озер



Типичные графики сезонных колебаний уровня озер Телецкого (1), Плещеева (2) Ладожского (3) (I—XII — месяцы)

Эти колебания уровня также в основном связаны с изменениями составляющих водного баланса озер. Повышение уровня озер происходит в периоды повышенного притока вод в озера, определяемые типом внутригодового режима речного стока. Так, в озерах Онежском, Плещееве, Кубенском, Лача, Воже подъем уровня отмечается весной в период снегового половодья на реках; озера, питающиеся водами с ледников и высокогорных снегов (Телецкое, Иссык-Куль), имеют максимум уровня во вторую половину лета .

Величина сезонных колебаний уровня озер зависит от площади поверхности озера и удельного водосбора  $\Phi$ : с уменьшением площади озера и возрастанием  $\Phi$  она увеличивается.

# Кратковременные колебания уровня озер

Колебания уровня этого вида могут быть обусловлены сгонно-нагонными явлениями, сейшами, колебаниями атмосферного давления.

Воздействие ветра вызывает повышение уровня воды у наветренного (нагон) и понижение уровня воды у подветренного (сгон) берега.

При длительном устойчивом действии ветра возникает перекося водной поверхности с уклоном в сторону, противоположную направлению ветра. Величина уклона зависит от скорости ветра  $W$  и длины озера в направлении действия ветра  $L'_m$ . Условию равновесия тангенциального напряжения ветра и противоположно направленной продольной составляющей силы тяжести соответствует следующий уклон водной поверхности во время нагона:

$$I_{\text{наг}} = \frac{\rho_{\text{возд}} f_{\text{ветр}} W^2}{\rho g h} = K \frac{W^2}{g h}.$$

Величина перекося уровня в озере равна  $\Delta H = I_{\text{наг}} L_{\text{оз}} = KW^2 L' J g h$ .

При этом принято, что направление ветра и нагонного подъема уровня совпадают. Чем больше скорость ветра  $W$ , больше длина разгона  $L'_m$  и меньше глубина  $L$ , тем больше величина нагона.

Величина перекося уровня в озере при нагоне складывается из двух частей: нагонного повышения уровня у наветренного берега и обычно меньшего по величине сгонного понижения уровня у подветренного берега.

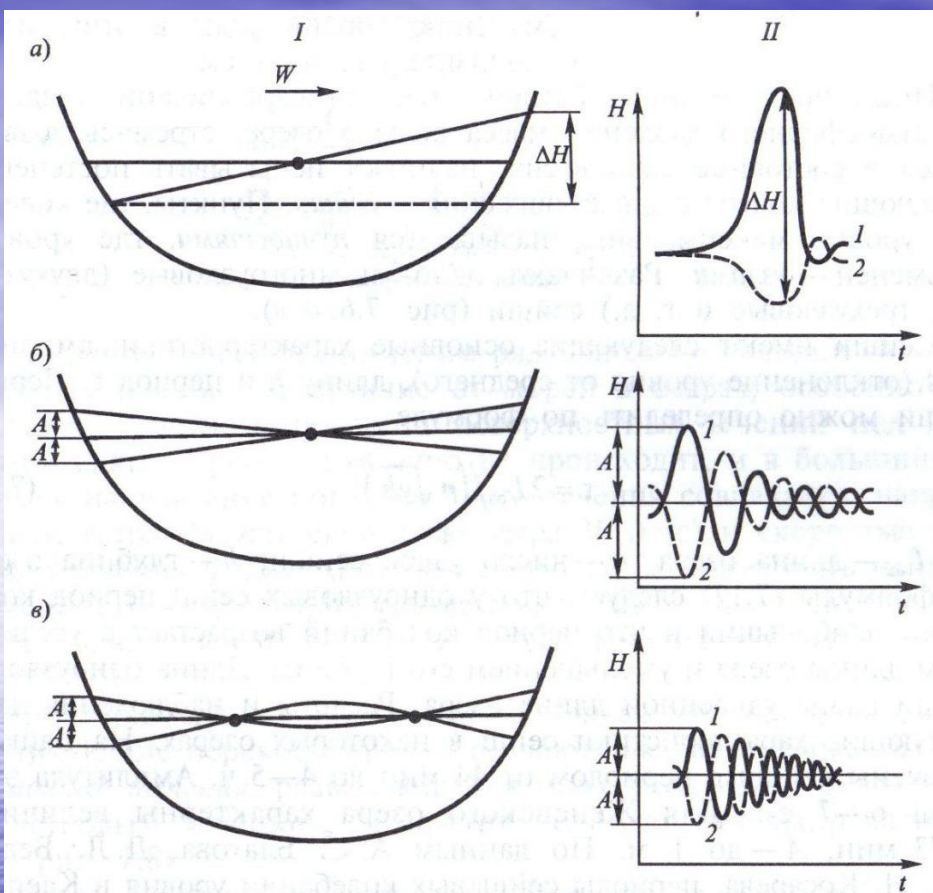
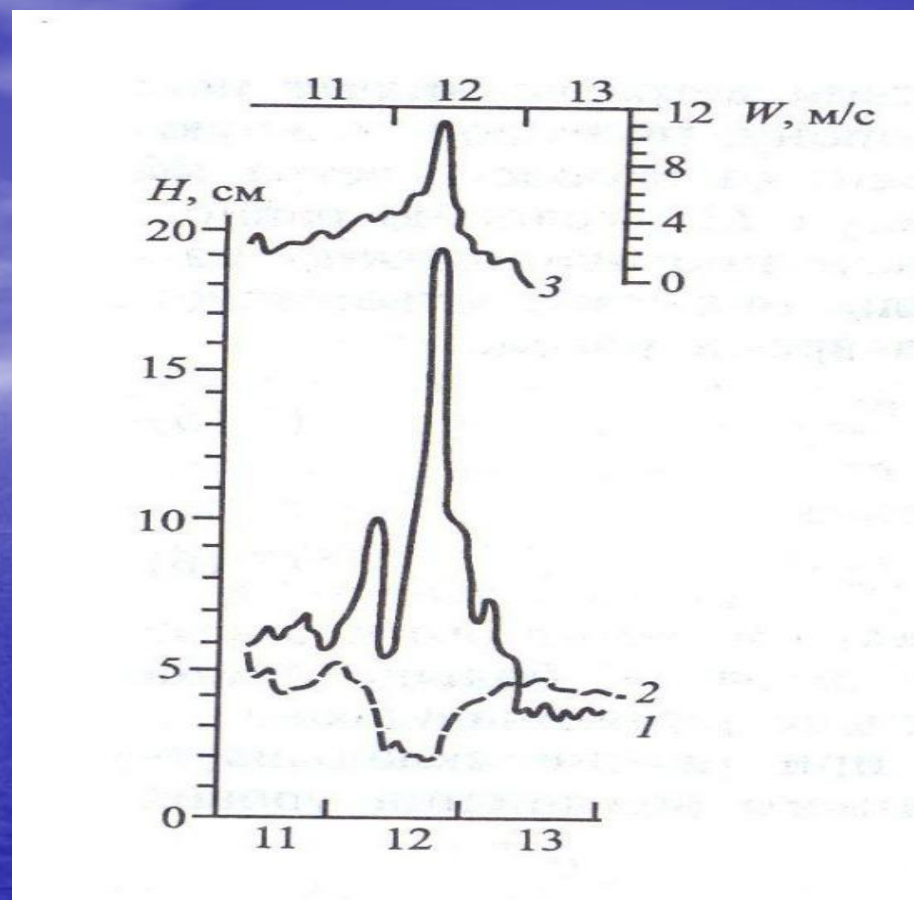


Схема денивелляции уровня озера при сгонно-нагонных явлениях (а), одноузловой (б) и двухузловой (в) сейшах: 1—поперечный разрез. 2—колебания уровня у противоположных берегов (1, 2) озера



Колебания уровня воды на противоположных берегах Ладожского озера — наветренном (7) и подветренном (2) и скорости ветра (3) во время нагона 11—13 октября 1962 г. (по Т. И. Малининой)

Неравномерное распределение атмосферного давления также создает перекосы уровня воды. При этом уровень воды ведет себя как «обратный барометр»: повышается при понижении и понижается при повышении атмосферного давления в соответствии с уравнением  $\Delta H = -\Delta p / \rho g$ , где  $\Delta p$  — величина изменения атмосферного давления.

После прекращения действия ветра или выравнивания градиентов атмосферного давления масса воды в озере, стремясь возвратиться в состояние равновесия, начинает испытывать постепенно затухающие колебательные движения — **сейши**.

**Сейши** — стоячие волны большого периода в замкнутых или частично замкнутых водоёмах. Они возникают как результат резонансных явлений при интерференции волн, вызванных действием внешней силы (резкого изменения атмосферного давления, ветра, сейсмических явлений), и волн, отражённых от берегов водоёма.

Пункты, где колебания уровня максимальны, называются **пучностями**, где уровень неизменен — **узлами**. Различают одно- и многоузловые (двухузловые, трехузловые и т. д.) сейши .

У одноузловых сейш период колебаний наибольший и что период колебаний возрастает с увеличением длины озера и уменьшением его глубины. Длина одноузловой сейши равна удвоенной длине озера.



На Байкале отмечены сейши с периодом от 44 мин до 4—5 ч. Амплитуда этих сейш 6—7 см. Для Женевского озера характерны величины  $t=73$  мин,  $A$ — до 1 м.



## 7.6. Течения, волнение и перемешивание воды в озерах

Основными причинами течений в озерах являются ветер, сток рек, впадающих в озеро, неравномерное распределение температуры и минерализации воды, а также атмосферного давления.

Ветер вызывает **ветровые течения**. Установившееся ветровое течение называют **дрейфовым течением**.

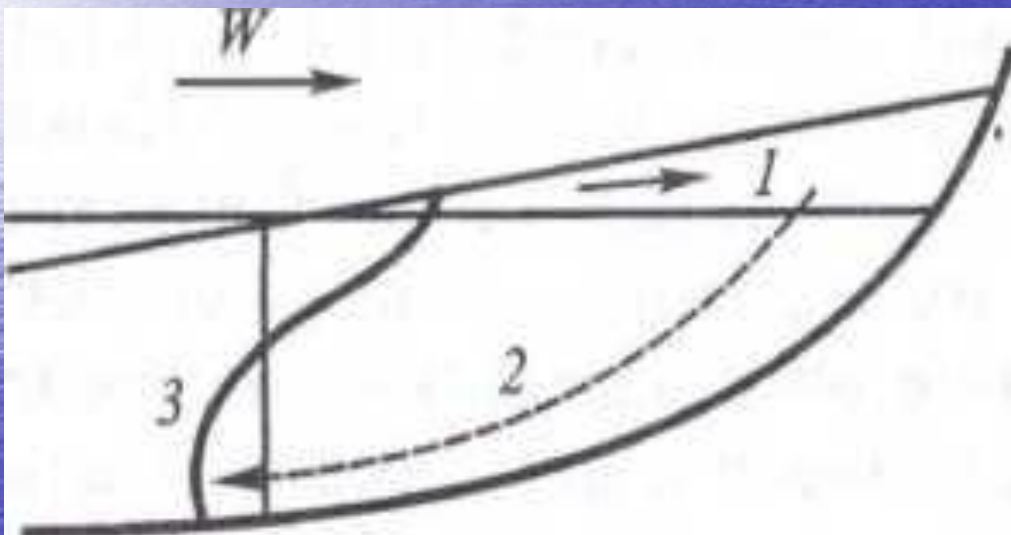
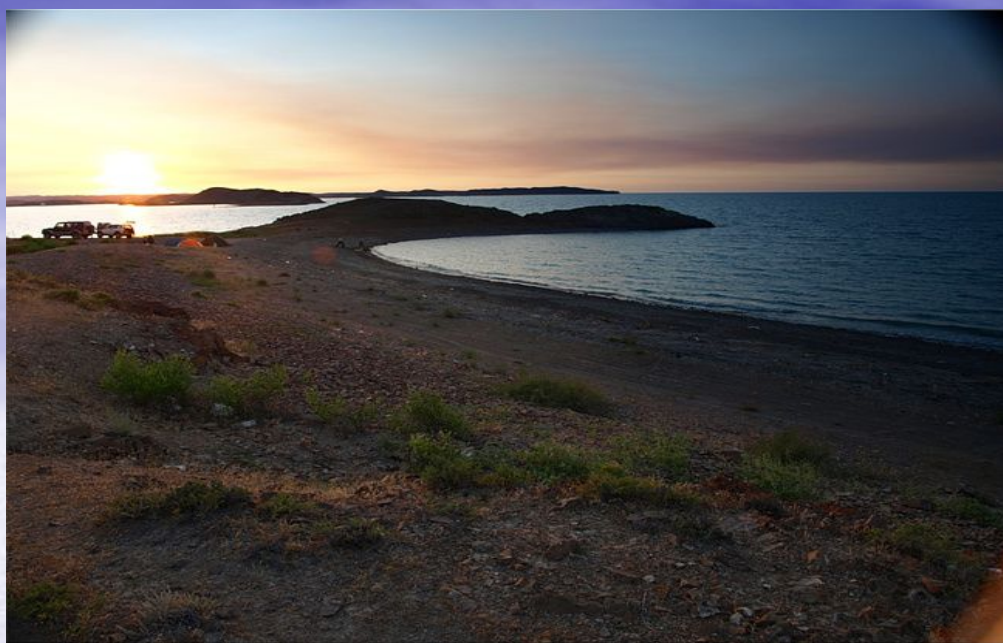


Схема возникновения ветрового (1) и компенсационного (2) течений в озере и вертикальное распределение скорости течения (3)

Ветер вызывает также **сгонно-нагонные деформации уровня**, возникающие перекосы уровня создают так называемые **компенсационные течения**, развивающиеся ниже слоя воды, охваченного ветровым течением, и противоположно ему направленные.



**Озеро Балхаш в Казахстане(ветровые течения).**



**Существование пресного озера Балхаш без стока, среди пустынь, с сухим континентальным климатом и очень малым выпадением осадков - является географическим парадоксом. Прибалхашье расположено на границе нескольких географических зон, здесь можно встретить одновременно все пять климатических поясов Земли. Резко континентальный климат предполагает большую разницу дневной и ночной, летней и зимней температур. Зимой настоящих снегопадов не бывает, несмотря на это, Балхаш зимой – настоящая Арктика, с ледяными наносами. Лед очень крепок, его толщина составляет полтора метра. В период ледостава образуются торосы, высота которых достигает до 15 метров.**



**Озеро Донузлав в Крыму.**

**При нагонных ветрах  
компенсационные  
течения "из залива"  
охватывают все озеро.**

**Женевское озеро в Швейцарии.**

**Сейши** — это стоячие волны, возникающие в замкнутых или частично замкнутых водоёмах под воздействием атмосферного давления, ветра, сейсмических явлений. Этот термин ввёл ещё в 1890 году швейцарский учёный Франсуа-Альфонс Форель, исследовавший Женевское озеро.



После прекращения ветра на многих озерах возникают сейши , сопровождающиеся **сейшевыми течениями**. Скорости таких течений обычно невелики, но в узких заливах и проливах могут достигать 1 м/с и более.

Ветер создает также **волновые течения**, совпадающие с направлением распространения волн.

Втекающие в озера реки создают местные перекосы уровня воды, приводящие к возникновению **гравитационных (стоковых) течений**, иногда распространяющихся на все озеро, особенно если оно невелико по размеру и проточное.

Неравномерное распределение по пространству озера температуры, а иногда и минерализации воды создает горизонтальные градиенты плотности и перекосы уровня, вызывающие **плотностные течения**.

Изменения уровня, обусловленные изменениями атмосферного давления, вызывают **бароградиентные течения**, сходные с компенсационными течениями, связанными с ветровыми изменениями уровня.

**Волнение на озерах.** Волнение на озерах, особенно небольших, имеет ряд особенностей, связанных с ограниченностью размеров водоема и, как правило, небольшими глубинами.

Волнение на озерах в связи с их небольшими размерами развивается быстрее, чем на больших морских акваториях. Так же быстро волнение на озерах и затухает после ослабления и прекращения действия ветра.

**Волны зыби**, перемещающиеся в водоемах после прекращения действия ветра, на небольших озерах наблюдаются редко.

Волнение на озерах обычно менее упорядоченное, чем на морях. Волны, как правило, трехмерные (хорошо выраженный фронт волны отсутствует), более крутые, чем на морях. **Крутизна волны** — это отношение высоты волны  $h_B$  к ее длине  $L$ .

На крупных озерах максимальная высота волн может достигать 3—4, иногда 5—6 м (оз. Мичиган, оз. Ладожское). На Каспийском море максимальная высота волн еще больше. На малых озерах высота волн обычно не превышает 0,5 м. Крутизна волн на озерах в среднем около 0,1.



В час, как лунная телега. Эти гусли - глубь Онега. Проезжает зыбью

**Перемешивание воды в озерах.** Физическими причинами вертикального перемешивания вод в озерах являются различия в плотности воды, вызывающие **КОНВЕКТИВНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ**, и действие ветра (волнение, ветровые течения), приводящие к **динамическому перемешиванию**.

Конвективное перемешивание наблюдается в озерах с пресной или солоноватой водой при нарушении плотностной устойчивости вод, вызванной, например, весенним нагреванием или осенним охлаждением поверхностного слоя воды до температуры наибольшей плотности. Вертикальная плотностная стратификация в озерах препятствует динамическому перемешиванию.

Шторм 2-3 балла



О  
н  
е  
ж  
с  
к  
о  
е

ВОЛНЫ



# 7.7. ТЕРМИЧЕСКИЙ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ ОЗЕР

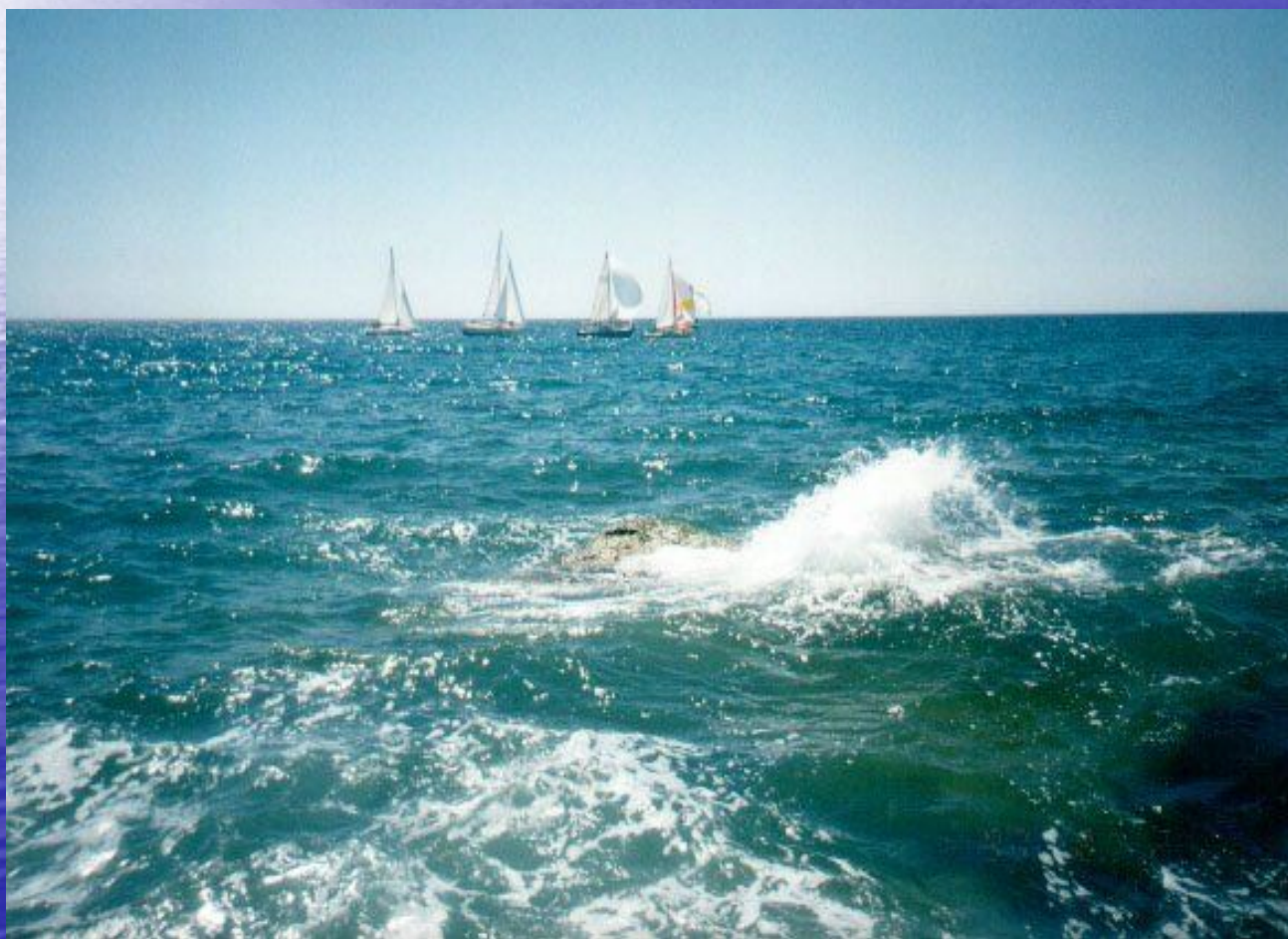
## 7.7.1. Тепловой баланс озер

Для большинства озер главными приходными составляющими теплового баланса являются солнечная радиация  $Q_c$ , поступление теплоты из атмосферы при турбулентном теплообмене  $Q_{атм}$ , от донных грунтов  $Q_{гр}$ , с речным стоком  $Q_{реч}$  и подземными водами  $Q_{подз}^*$ , выделение теплоты при конденсации водяного пара  $Q_{конд}$  и при ледообразовании  $Q_{лед}$ . Теплота расходуется в озерах на эффективное излучение  $I$ , при передаче в процессе турбулентного теплообмена в атмосферу  $Q_{атм}'$ , при поступлении в грунты дна  $Q_{гр}'$ , на испарение  $Q_{исп}$  и таяние льда  $Q_{пл}$ . Часть теплоты  $Q_{реч}$  уносится из озера с вытекающими из него речными водами (для сточных озер) и с подземным оттоком  $Q_{подз}$ . В результате сочетания прихода и расхода теплоты изменяется теплосодержание вод в озере  $\Delta Q$ .

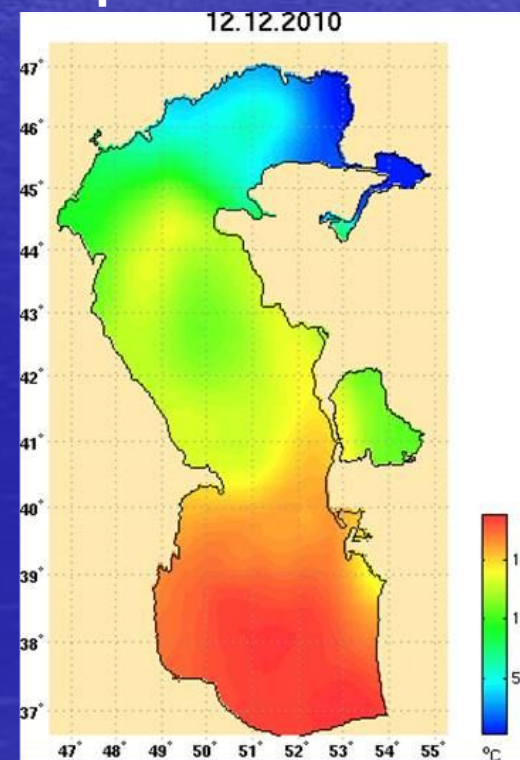
Общее уравнение теплового баланса водного объекта применительно к озеру можно представить в следующем виде:

$$Q_c + Q_{атм} + 0 + Q_{реч} + Q_{подз} + Q_{конд} + Q_{лед} = \\ = I + Q_{атм}' + Q_{гр}' + Q_{исп} + Q_{пл} + \Delta Q$$

Нагревание и охлаждение озер осуществляется главным образом через их поверхность (солнечная радиация, эффективное излучение, теплообмен с атмосферой, потери теплоты на испарение). Передача теплоты по вертикали (от поверхности на глубину и наоборот) происходит в озере вследствие вертикального перемешивания — конвективного и динамического.



Каспийское море.  
Тепловой баланс  
озера.





## 7.7.2. Термическая классификация озер

Увеличение температуры воды от дна к поверхности называется *прямой температурной стратификацией*; уменьшение температуры воды от дна к поверхности носит название *обратной температурной стратификации*; наконец, равномерное распределение температуры воды по глубине называется *гомотермией*.

Ф. А. Форель подразделил все пресноводные водоемы мира на три группы:

**1) полярные** (или холодные) с температурой в течение всего года ниже  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  и с преобладанием обратной температурной стратификации .

**2) тропические** (или теплые) с температурой в течение всего года выше  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  и с преобладанием прямой температурной стратификации .

**3) озера в условиях умеренного климата** с температурой выше  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  и прямой температурной стратификацией летом и температурой ниже  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  и обратной температурной стратификацией зимой .

Формирование как прямой, так и обратной температурной стратификации, а тем более трансформация прямой стратификации в обратную и наоборот сопровождается **Вертикальной циркуляцией вод в озере**, т. е. вертикальным перемешиванием.

Хатчинсон выделил озера:

- 1) **амиктические**, которые, находясь весь год подо льдом, по вертикали никогда не перемешиваются;
- 2) **голомиктические**, подверженные вертикальному перемешиванию до самого дна;
- 3) **меромиктические**, в которых из-за большой разницы в плотности поверхностных и глубинных слоев, вызванной различием в их минерализации, перемешивание охватывает лишь верхний слой.

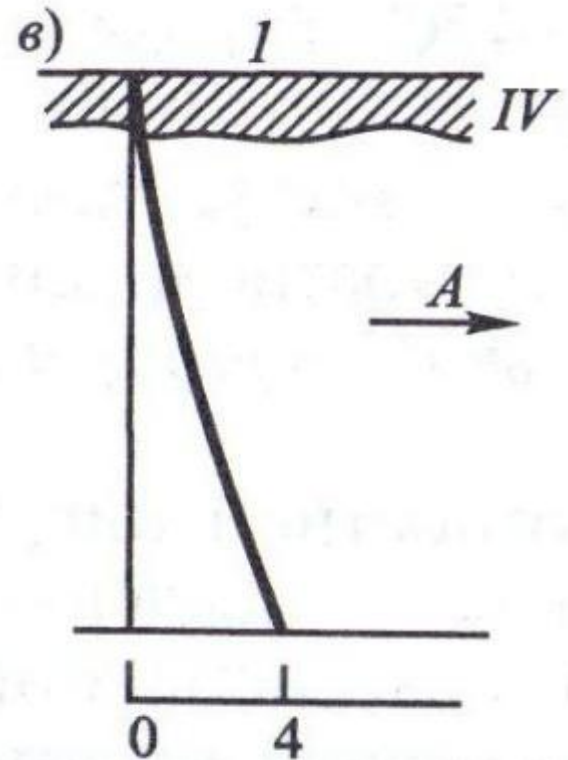
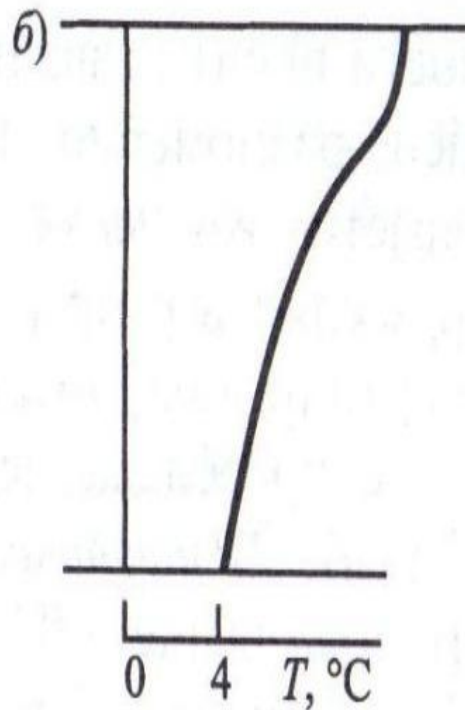
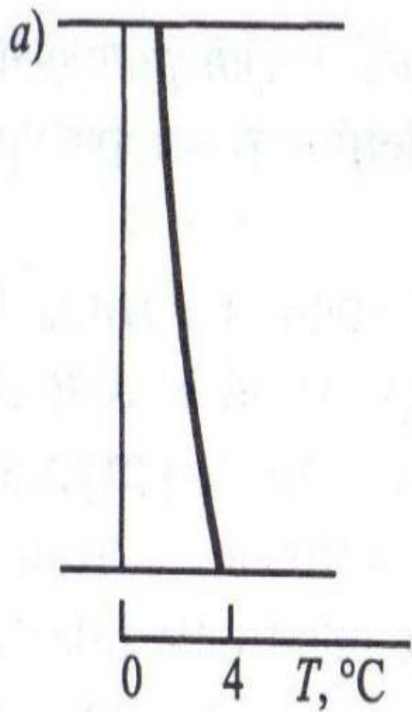
Голомиктические озера подразделяются, в свою очередь, на мономиктические и димиктические. Мономиктические озера перемешиваются по вертикали лишь один раз в году: либо летом (это теплые озера по классификации Фореля), либо зимой (холодные озера). Димиктические озера перемешиваются дважды в год — весной и осенью; это озера умеренного климата по классификации Фореля.

# Схема температурной стратификации в озерах

полярного (а),

тропического (б)

умеренного (в) климатов.



## 7.7.3. Термический режим озер в условиях умеренного климата

Термический режим озер третьей группы наиболее сложен. Рассмотрим достаточно глубокое слабопроточное пресноводное озеро в условиях умеренного климата. В режиме температуры воды в озере выделяют четыре сезона (периода): весеннего нагревания, летнего нагревания, осеннего охлаждения, зимнего охлаждения. Зимой подо льдом в озере наблюдается обратная температурная стратификация (сл.47в1). В поверхностном слое температура близка к  $0^{\circ}\text{C}$ , в придонном слое — около  $3\text{—}4^{\circ}\text{C}$  (в более мелких водоемах у дна температура немного ниже).

В период весеннего нагревания температура воды в поверхностном слое повышается. Этот процесс начинается, когда озеро еще покрыто льдом, и продолжается после схода ледяного покрова. Когда температура поверхностного слоя станет несколько выше температуры нижерасположенных слоев, нарушится вертикальная плотностная устойчивость вод: более теплая и более плотная вода начинает опускаться, а менее теплая и менее плотная — подниматься к поверхности.

**1**-обратная температурная стратификация зимой.

**2**-весенняя гомотермия.

**3**-прямая температурная стратификация летом.

**4**-осенняя гомотермия.

**А**-весеннее нагревание.

**Б**-летнее нагревание.

**В**-осеннее охлаждение.

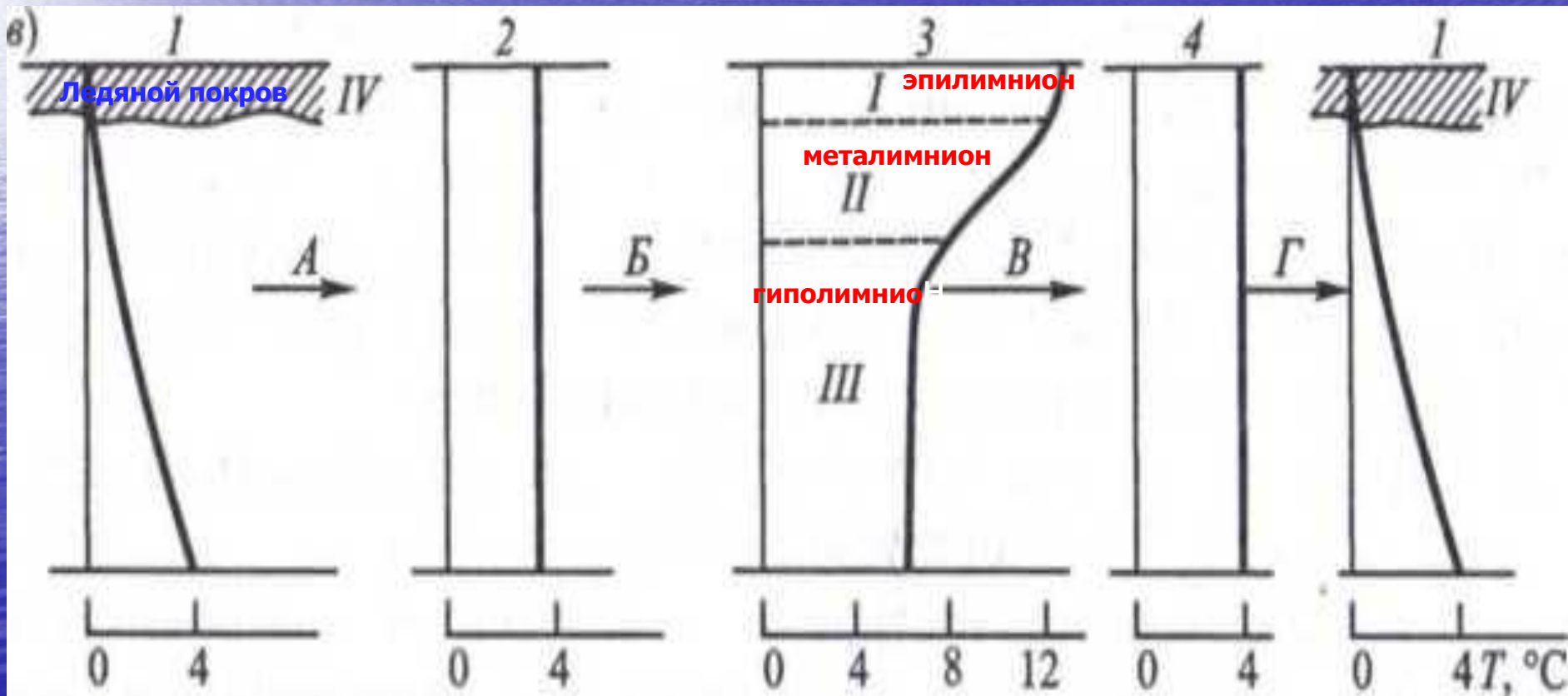
**Г**-предзимнее и зимнее охлаждение.

**1**- эпиманион

**2**- металимнион

**3**- гиполимнион

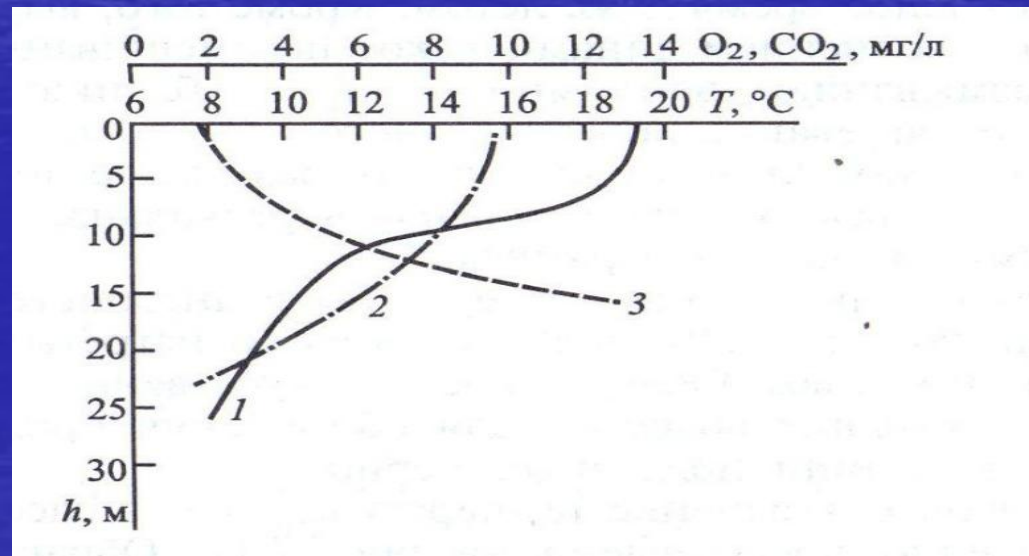
**4**- ледяной покров



Возникшее интенсивное вертикальное конвективное перемешивание приведет к выравниванию температуры по вертикали (сл.47в2), наступает **весенняя гомотермия** (обычно при температуре от 2 до 4 °С). В это время создаются благоприятные предпосылки и для вертикального динамического (ветрового) перемешивания. Вода в толще озера может обновиться.

В период летнего нагревания в озере устанавливается прямая температурная стратификация (сл.47в3). Наиболее высокую температуру приобретает поверхностный слой воды — **эпилимнион**. Ниже этого слоя лежит так называемый слой температурного скачка — **металимнион**. Основная же толща озерных вод сохраняет относительно невысокую температуру. Этот слой называется **гиполимнион**.

Типичное распределение по глубине температуры воды (1), содержания кислорода (2) и диоксида углерода (3) в глубоком озере в летнее время



В период осеннего охлаждения температура в поверхностном слое понижается. После того как она станет несколько ниже температуры нижерасположенных слоев, более плотные воды начинают опускаться вниз, возникает активное конвективное перемешивание. В результате устанавливается **ОСЕННЯЯ ГОМОТЕРМИЯ** (сл47 в4). Как и во время весенней гомотермии, создаются благоприятные условия и для вертикального динамического перемешивания. Вода в придонных слоях обновляется. Гомотермия обычно устанавливается при температуре около 4 °С, а иногда (при сильном ветровом воздействии на поверхность озера) и при несколько большей температуре (5—6°С и выше).

Наступает период предзимнего и зимнего охлаждения. В это время температура в поверхностном слое постепенно понижается до температуры замерзания (0 °С для пресных вод), в толще воды устанавливается обратная температурная стратификация, а на поверхности озера образуется ледяной покров (сл 47в1). Температура в придонных слоях снижается до 4, а иногда и до 2—3 °С, а в очень мелководных озерах — и до 0,5—1 °С. Но вода на глубинах озера не достигает 0 °С и не замерзает, что предохраняет живые организмы от гибели.

Внутригодовое изменение температуры воды в рассматриваемом озере схематично представлено на схеме. Обращают на себя внимание такие основные особенности внутригодового хода температуры воды в озере.

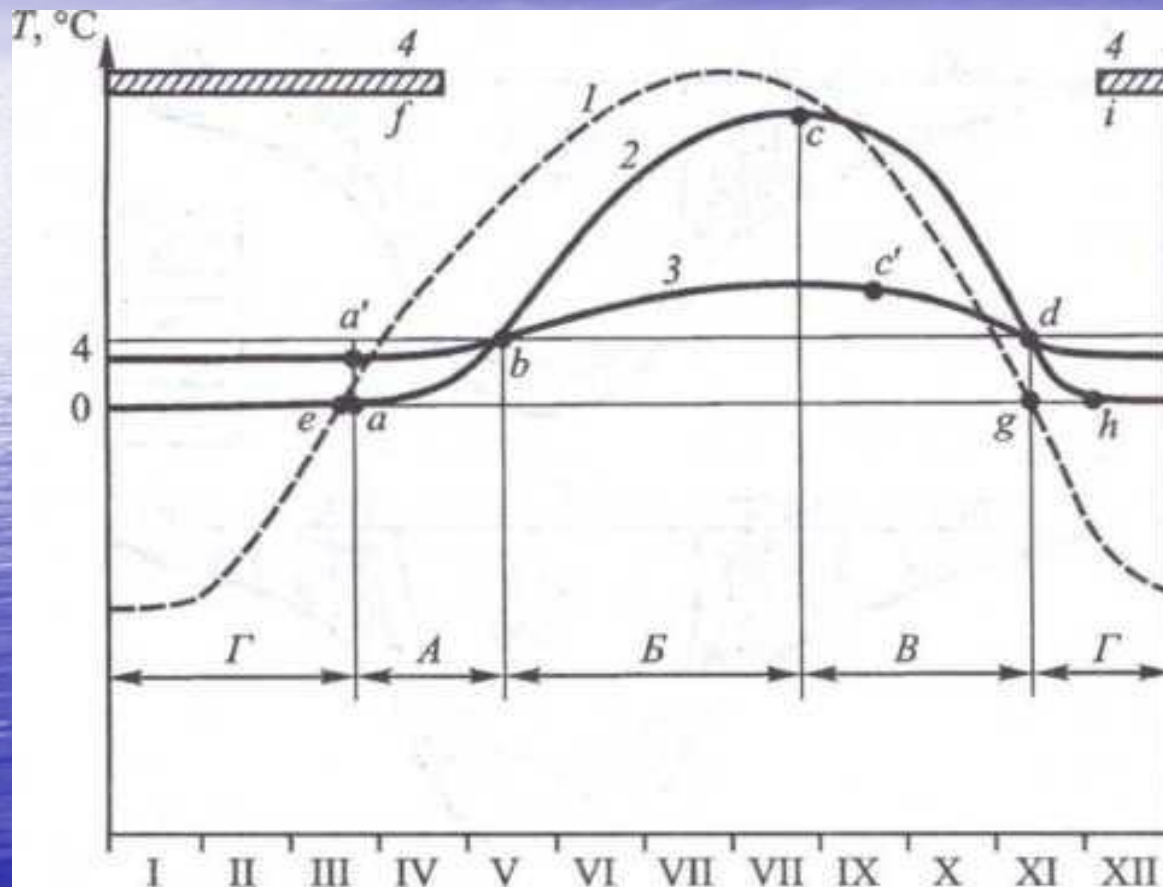


Схема внутригодовых изменений температуры воздуха (1) и температуры воды в поверхностном (2) и придонном (3) слоях глубокого пресноводного озера в умеренных широтах Северного полушария;

**4** — ледостав; *периоды:*

**А** — весеннего нагревания,

**Б** — летнего нагревания,

**В** — осеннего охлаждения,

**Г** — предзимнего и зимнего охлаждения.

**Во-первых**, изменения температуры на поверхности воды отстают от изменений температуры воздуха.



**Во-вторых**, отрицательные значения температура воды в пресноводном озере принимать не может, поэтому средняя годовая температура воды в поверхностном слое озера выше, чем средняя годовая температура воздуха.

**В-третьих**, размах колебаний температуры воды в поверхностном слое существенно больше, чем на глубине. Если у поверхности эта величина может достигать 15—20 и даже 20—25 °С, то у дна в глубоком озере — всего 2—4 °С. Изменения температуры на глубине всегда отстают во времени от ее изменений в вышележащих слоях.

На схеме сл.50 выделены характерные периоды термического режима глубокого озера. Период весеннего нагревания *A* начинается, когда озеро еще покрыто льдом, но уже повышается температура воды (точка *a*), а заканчивается, когда температура в поверхностном и придонном слоях выравнивается и становится равной приблизительно 4 °С (точка *b*).

Период летнего нагревания *B* оканчивается при достижении температурой в поверхностном слое максимума (точка *c*). В придонном слое максимум температуры наступает позже (точка *c'*).

Период осеннего охлаждения *B* заканчивается, когда температура в поверхностном и придонном слоях выравнивается (приблизительно при 4°С, точка *d* ) .

И наконец, период предзимнего и зимнего охлаждения *Г* оканчивается, когда в конце зимы температура придонного слоя достигнет минимума (точка *a'*), а в поверхностном слое температура начинает повышаться (точка *a*).

Суточные колебания температуры воды, как и сезонные, также затухают с глубиной.

В процессе нагревания и охлаждения озера может отмечаться большая горизонтальная неоднородность температуры воды, особенно в больших озерах. На прибрежных мелководьях вода быстрее прогревается и быстрее остывает. В центральных районах озера благодаря инерционности тепловых процессов в больших объемах воды температура изменяется более медленно.

Наиболее характерна для крупных и глубоких озер в условиях умеренного климата горизонтальная неоднородность температуры воды весной и осенью. В процессе весеннего нагревания температура воды в прибрежных районах быстрее достигает  $4^{\circ}\text{C}$ , чем в центральной части озера. При последующем нагревании между прибрежными водами, нагретыми до температуры выше  $4^{\circ}\text{C}$ , и водами центральной части озера с температурой ниже  $4^{\circ}\text{C}$  формируется так называемый **термический бар** — вертикальный пояс с температурой воды  $4^{\circ}\text{C}$ . В этом поясе вода, имеющая повышенную плотность, опускается.

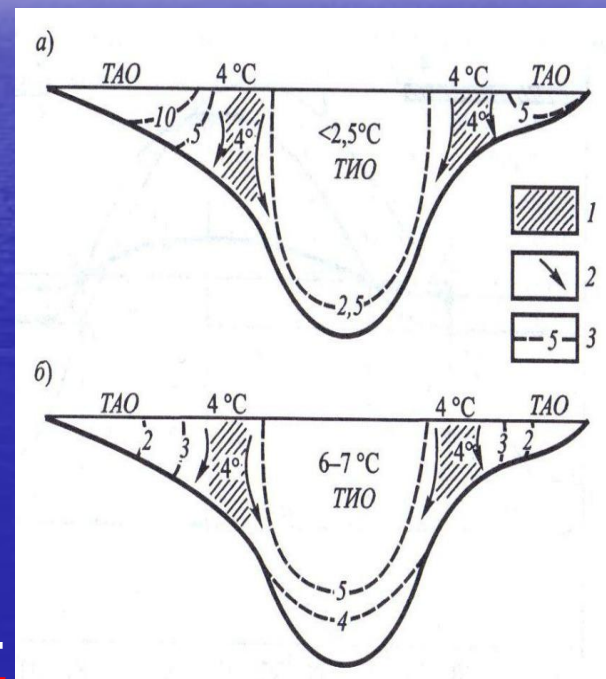


Схема термического бара (по А. И. Тихомирову)

весной (а) и осенью (б):

- 1 — термический бар;
- 2 — циркуляция вод;
- 3 — изотермы

**Термический бар изолирует прибрежные быстро нагревающиеся воды (теплоактивную область — ТАО) от более холодной воды центральной части озера (теплоинертной области — ТИО). Водо- и теплообмен через термический бар затруднен. По мере общего нагревания водоема термический бар смещается к центру озера и в конце концов исчезает.**

**Осенью прибрежные воды охлаждаются до 4 °С быстрее, чем воды центральной части озера. При последующем охлаждении вод, так же как и весной, возникает термический бар (сл.526), отделяющий более холодные прибрежные воды температурой ниже 4 °С от вод температурой выше 4 °С. Как и весной, термический бар постепенно смещается к центру озера. Будучи прежде всего своеобразным тепловым барьером в озерной толще, термический бар служит также и динамическим барьером между прибрежными водами и водами центральной части озера, которые благодаря этому могут обладать и существенно различными физико-химическими и гидробиологическими свойствами. Поэтому роль термического бара в водоемах чрезвычайно велика. Это явление впервые было обнаружено еще Ф. А. Форелем и детально исследовано отечественным озероведом А. И. Тихомировым.**

## 7.7.4. Ледовые явления на озерах

Озера по характеру ледового режима в зависимости от климатических условий подразделяются на четыре группы:

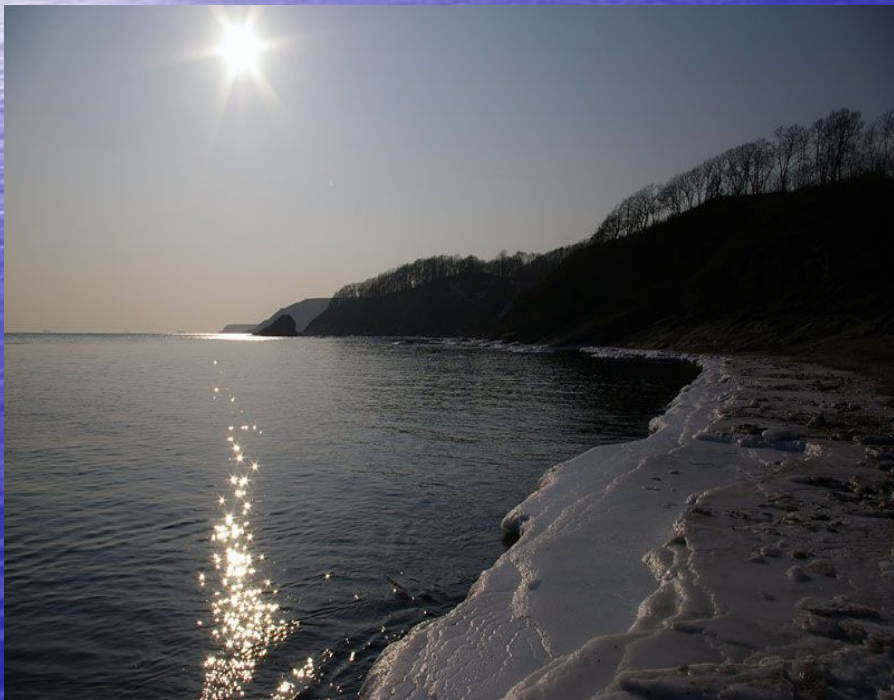
1. не имеющие ледовых явлений
2. с неустойчивым ледоставом
3. с устойчивым ледоставом зимой
4. с ледоставом в течение всего года (например, подледные озера в Антарктиде).

У озер третьей группы, находящихся в основном в условиях умеренного климата, так же как и у рек, выделяют три характерных периода ледового режима: **замерзания** (осенних ледовых явлений), **ледостава**, **вскрытия** (весенних ледовых явлений).

Ледовые явления начинаются после того, как температура поверхностного слоя достигнет точки замерзания ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  для пресноводных озер, точка  $h$  сл.50). Этот момент, в свою очередь, наступает несколько позже перехода средней суточной температуры воздуха через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (точка  $g$ ). Ледостав устанавливается позже начала ледовых явлений (точка  $/$ ).

В той же последовательности наступают характерные моменты ледового режима в весенний период: сначала средняя суточная температура воздуха переходит через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (точка *e*), затем начинает повышаться температура воды в полыньях и закраинах (точка *a*) и с некоторым запозданием озеро освобождается от льда (точка *J*).

Осенние ледовые явления начинаются в наиболее быстро охлаждающихся прибрежных районах озера. На отмелях у берегов возникают **забереги**. На крупных озерах эти ледяные образования (как и на моряк) называют **припаем**. Образованию заберегов и припая препятствует волнение.



п  
р  
и  
п  
а  
й

Ледяные забереги.



Озерный лед обычно имеет слоистое строение. Непосредственно на поверхности воды лежит прозрачный **водный кристаллический лед**, на котором в случае выхода воды по трещинам об **водно-снеговой лед (наслуз)** из пропитанного водой снега. При подтаивании и последующем разуется малопрозрачный смерзании лежащего на льду снега формируется **снеговой лед**.

Толщина льда на озерах северо-запада Европейской части России достигает 50—60 см, на озерах севера Сибири — 2—3 м.



Прозрачный кристаллический лед Байкала.



Наслуз.

Таяние и разрушение льда на озерах происходит под воздействием солнечной радиации, теплообмена льда с атмосферой и с нагревающейся водой самого озера, теплоты, поступающей с талыми снеговыми, дождевыми и речными водами.

В ряде случаев заметное влияние оказывают и механические факторы — течения, волнение, ветер. Чаще всего лед на озерах тает на месте, причем лед стаивает как с верхней, так и с нижней своей поверхности. Раньше всего лед тает вблизи берегов, уже освободившихся от снежного покрова и поэтому быстрее нагревающихся. Участки чистой воды у берегов, так же как и на реках, называют **закраинами**.



Интересный природный феномен на берегу озера. Это возможно, если температура воды примерно равна 0 градусов, ветренно и идет снег.



Снеговой лёд



**Дохнул мороз  
холодным  
дыханием и  
прихватил ледком  
прибрежные  
закраины .**

**На озере Томмот  
появились  
закраины .**





## 7.8. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕР

### 7.8.1. Гидрохимические характеристики озер

В соответствии с общей классификацией природных вод по минерализации озера могут быть подразделены на **пресные** (или пресноводные) с соленостью менее 1 ‰, **солончатые** с соленостью от 1 до 25 ‰, **солёные** с соленостью 25—50 ‰ (озера с морской соленостью). Озера последней группы иногда называют **соляными**. Воду в озерах с соленостью более 50 ‰ называют рассолом. Озера с соленостью воды выше, чем в океане (35 ‰), иногда называют минеральными.

Наименьшую минерализацию имеют озера зоны избыточного и достаточного увлажнения. Минерализация вод в озерах Байкал, Онежское, Ладожское менее 100 мг/л. В зоне недостаточного увлажнения минерализация озерной воды выше. В Севане соленость воды около 0,7, Балхаше 1,2—4,6, Иссык-Куле 5—8, в Каспийском море 11—13 ‰.

**Солевой баланс озер.** Применительно к озерам уравнение солевого баланса можно записать следующим образом:

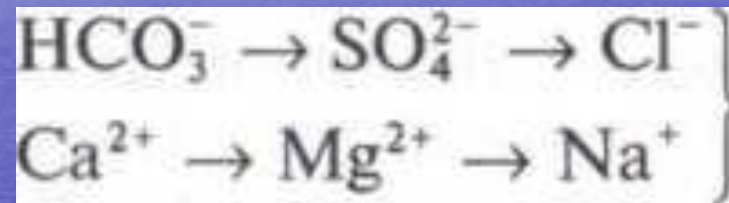
$$R_{\text{реч}} + R_{\text{подз}} + R_x = R_{\text{реч}} + R_{\text{подз}} + R_{\text{ветр}} + R_{\text{ос}} + \Delta R,$$

где  $R_{\text{реч}+}$  и  $R_{\text{реч}-}$  — приход и расход солей с поверхностным (речным) стоком;  $R_{\text{+подз}}$  и  $R_{\text{-подз}}$  — то же, с подземным стоком;  $R_x$  — поступление солей с атмосферными осадками;  $R_{\text{ветр}}$  — вынос солей с поверхности озера ветром;  $R_{\text{ос}}$  — количество солей, осаждающихся на дно;  $\pm \Delta R$  — изменение количества солей в воде озера за интервал времени  $\Delta t$ , причем  $\Delta R = R_{\text{кон}} - R_{\text{нач}}$ , где  $R_{\text{кон}}$  и  $R_{\text{нач}}$  — конечное и начальное количество солей в озере за интервал  $\Delta t$ . Члены уравнения выражаются в единицах массы (кг).

Для сточных озер основной вклад в уравнение дает поступление и унос солей с речным стоком.

Для сильно минерализованных бессточных озер засушливой зоны в приходной части уравнения возрастает роль притока солей с подземным стоком, в расходной части существенная роль начинает принадлежать осаждению солей и выносу их ветром.

**Химический состав озерных вод.** От менее засушливых районов к более засушливым увеличивается минерализация воды озер; в этом же направлении происходит трансформация основного химического состава вод: воды из гидрокарбонатного класса переходят в сульфатный и хлоридный и из кальциевой группы в магниевую и натриевую по следующей схеме:



В некоторых соляных озерах вода представляет собой **рассол**, или **рапу**, содержащую соли в состоянии, близком к насыщению. Если такое насыщение достигнуто, то начинается осаждение солей, и озеро превращается в **самосадочное**. Самосадочные озера подразделяются на **карбонатные, сульфатные, хлоридные**.

Помимо растворенных солей вода озер содержит биогенные вещества (соединения азота N, фосфора P, кремния Si, железа Fe и др.); растворенные газы (кислород O<sub>2</sub>, азот N<sub>2</sub>, диоксид углерода CO<sub>2</sub>, сероводород H<sub>2</sub>S и др.); органические вещества.

**Биогенные вещества в озерной воде необходимы для жизнедеятельности водных организмов, однако их избыток приводит к ухудшению качества воды в озерах.**

**Кислород поступает в озера в основном из атмосферы, а также продуцируется в процессе фотосинтеза. При избытке кислород уходит из воды в атмосферу. Он также расходуется при дыхании водных организмов, при разложении и окислении органического вещества, находящегося в озере. Содержание кислорода в водной толще озера — неперемное условие жизни и развития большинства водных организмов. В процессе их жизнедеятельности кислород потребляется, а диоксид углерода выделяется. Поэтому к концу летнего периода в глубоких местах озера может возникнуть недостаток кислорода и избыток диоксида углерода.**

**Обогащение толщи воды кислородом происходит во время интенсивного вертикального конвективного и динамического перемешивания (обычно в периоды весенней и осенней гомотермии).**

**Интенсивность и направленность газообмена водоема с атмосферой определяются степенью насыщенности воды газами, в свою очередь зависящей от растворимости газа при определенных значениях температуры и давления. Если вода поверхностного слоя озера недонасыщена, например кислородом, то происходит его поглощение из атмосферы; если вода перенасыщена кислородом, часть его удаляется в атмосферу.**

## 7.8.2. Гидробиологические характеристики озер

Озера населены водными организмами (гидробионтами). По условиям питания водных организмов (трофическим условиям) озера подразделяются на:

- 1. олиготрофные** (глубокие озера Байкал, Иссык-Куль, Телецкое и др. с малым количеством питательных веществ и малой продукцией органического вещества);
- 2. евтрофные** (озера с большим поступлением питательных веществ, большим содержанием органического вещества, продуцирование которого ведет к пересыщению кислородом в поверхностном слое воды, а разложение — к недостатку кислорода в гипolimнионе);
- 3. дистрофные** (озера, содержащие в воде настолько избыточное количество органического вещества, что продукты его неполного окисления становятся вредными для жизнедеятельности организмов, как, например, в некоторых заболоченных районах);
- 4. мезотрофные** (озера со средними трофическими условиями).

Естественная эволюция небольших по размеру озер в условиях холодного и умеренного климата идет по следующей схеме:

олиготрофные -> мезотрофные —> евтрофные —»дистрофные озера —> болота.

Существенное влияние на евтрофирование озер оказывает хозяйственная деятельность — сброс загрязненных вод, богатых соединениями фосфора и азота.

Признаки евтрофирования появились у таких озер, как Ладожское и Онежское.

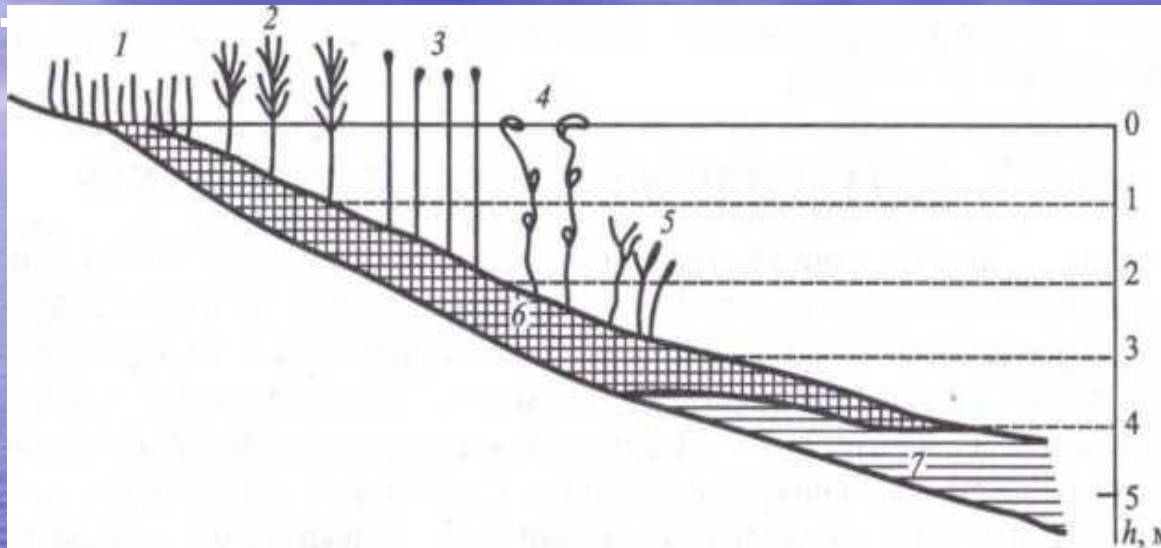


Схема размещения растительности в прибрежной части озера и зарастания озера:

- 1 — осока;
- 2 — тростник;
- 3 — камыш;
- 4 — кувшинки;
- 5 — рдест;
- 6 — торф;
- 7 — сапрпель

Для озер в условиях умеренного климата характерны такие внутригодовые изменения гидробиологических процессов. Повышение температуры воздуха и воды в весенний период приводит к началу вегетации макрофитов, а в водной толще — к развитию фитопланктона.

Вслед за развитием фитопланктона происходит и увеличение количества зоопланктона. В летнее время активно развивается и бентос. С понижением температуры воздуха и воды осенью начинают отмирать макрофиты, сокращается биомасса озера.

### 7.8.3. Наносы и донные отложения в озерах

По аналогии с любым водным объектом баланс взвешенных наносов в озерах складывается из следующих основных составляющих: приходная часть — поступление наносов с речным стоком  $R_{+реч}$ , вследствие разрушения берегов  $R_{бер}$ , эолового приноса  $R_{э}$  отмирания живых организмов  $R_{отм}$ , расходная часть — унос с речным стоком  $R_{-реч}$ , аккумуляция на дне  $R_{акк}$ . Изменение содержания взвесей в о воде  $равн \pm \Delta R$ . Все упомянутые величины должны быть выражены в единицах массы и отнесены к определенному интервалу времени  $\Delta t$ . Таким образом, уравнение баланса наносов в озере выглядит следующим образом:

$$R_{реч} + R_{бер} + R_{э} + R_{отм} = R_{-реч} + R_{акк} \pm \Delta R$$

Аккумуляция наносов на дне ведет к формированию **донных отложений**, которые по происхождению слагающих их частиц подразделяются на **терригенные** (в основном минеральные частицы, поступающие с водосбора и берегов озера), **биогенные и хемогенные** (являющиеся в основном результатом гидробиологических и гидрохимических процессов в водной толще озера).

По составу донные отложения подразделяют на

**1.минеральные** (песок, минеральный ил, соли),

**2.сапропели** (биогенные илы)

**3. торфянистые.**

Сапропели образуются в основном в малых и средних евтрофных озерах лесной зоны.

В распределении донных отложений по пространству озера отмечается зональность. На литорали, особенно подверженной воздействию волнения, отлагаются наиболее крупные частицы, в основном минеральные. По направлению к наиболее глубоким частям озера крупность частиц донных отложений уменьшается, а в их составе все большую долю приобретают органические илы. Доля биогенных частиц в отложениях обычно увеличивается с уменьшением размеров озер.



Озёра активно  
заиляются  
(донные отложения  
достигают одного  
метра).



## 7.9. ВОДНЫЕ МАССЫ ОЗЕР

Озерам, так же как океанам и морям, свойственна большая неоднородность характеристик вод в пространстве и во времени. Вместе с тем в озерах могут быть выделены отдельные достаточно большие объемы воды, сформировавшиеся в течение длительного периода времени и характеризующиеся более или менее однородными физическими, химическими и биологическими свойствами. Такие крупные объемы воды называют **водными массами**, а их закономерное пространственное сочетание — **гидрологической структурой водоема**.

Основными показателями водных масс водоемов, позволяющими отличить одну водную массу от другой, служат такие характеристики, как плотность, температура, электропроводность, мутность, прозрачность воды и другие **физические показатели**; минерализация воды, содержание отдельных ионов, содержание газов в воде и другие **химические показатели**; содержание фито- и зоопланктона и другие **биологические показатели**. Среди перечисленных характеристик чаще всего для выделения водных масс водоемов суши — озер и водохранилищ — используют данные о температуре, прозрачности и электропроводности воды (индикаторе минерализации воды), а также данные о содержании растворенного кислорода.

Основное свойство любой водной массы в водоеме — ее **генетическая однородность**. По генезису выделяют два типа водных масс: первичные и основные.

**1.Первичные водные массы** озер формируются на их водосборах и поступают в водоемы в виде речного стока.

Основная особенность первичных водных масс фазы половодья — малая минерализация, повышенная мутность воды, достаточно высокое содержание растворенного кислорода. Температура первичной водной массы в период нагревания обычно выше, а в период охлаждения — ниже, чем в водоеме.

**2.Основные водные массы** формируются в самих водоемах; их характеристики отражают особенности гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов.

Часть свойств основные водные массы наследуют от первичных водных масс, часть приобретают в результате внутриводоемных процессов, а также под влиянием обмена веществом и энергией между водоемом, атмосферой и фунтами дна. Основные водные массы хотя и изменяют свои свойства в течение года, но в целом остаются более инертными, чем первичные водные массы.

Отличия основных водных масс от первичных зависят от многих факторов, среди которых главное место занимает структура водного баланса и водообмен водоема.

В пределах основной водной массы водоема в отдельные сезоны года удается выделить ее модификации: *поверхностную, промежуточную, глубинную и придонную водные массы.*

**Поверхностная водная масса** — это верхний наиболее нагретый слой воды (эпилимнион).

**Глубинная водная масса** — обычно наиболее мощный и относительно однородный слой более холодной воды (гиполимнион).

**Промежуточная водная масса** соответствует слою скачка температуры (металимнион).

**Придонная водная масса** — это узкий слой воды у дна, отличающийся повышенной минерализацией и специфическими водными организмами.

В результате взаимодействия первичной (речной) и основной (озерной) водных масс формируется так называемая **зона смешения**, где одна водная масса трансформируется в другую. В пределах зоны смешения находятся **фронтальная зона, фронтальный раздел и гидрофронт.**

Выделение водных масс в водоемах имеет важное значение для исследования и прогноза качества воды и биологической продуктивности водных объектов.

# 7.10. ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА КАСПИЙСКОГО И АРАЛЬСКОГО МОРЕЙ

## 7.10.1. Проблемы, связанные с судьбой Каспийского и Аральского морей



**Каспийское море**



**Аральское море**

Комплекс проблем, связанных с судьбой Каспийского и Аральского морей, приобрел особую актуальность в последние 30—40 лет.

**Во-первых**, существенными изменениями и природного облика и режима этих озер(изменения Аральского моря —это крупнейшая в 20веке экологическая катастрофа на Земле).

**Во-вторых**, большим экономическим и экологическим значением этих водоемов и заметным ущербом хозяйству и природе, нанесенным в последние десятилетия.

**В-третьих**, большими расхождениями в оценках в научной литературе и СМИ не только причин изменений режима водоемов, но и того, что вообще в них происходит, в особенности в Арале.

Каспийское и Аральское моря, несмотря на различное географическое положение и разную судьбу, имеют много общего.

Каспийское море,  
шторм 5 баллов.



**Первое.** Каспий и Арал — крупнейшие бессточные озера на Земле . Каспийское море — вообще самое крупное озеро в мире. По размеру площади оно намного превосходит занимающие второе и третье места озера Вепхнее и Виктория. Аральское море в середине XX в. по своему размеру занимало среди озер мира четвертое место. В настоящее время оно это положение утратило, но попрежнему остается вторым после Каспия крупнейшим бессточным водоемом планеты. Деградируя, оно постепенно приближается по размеру к оз. Балхаш.

**Второе.** Режим этих озер во многом напоминает морской (частично поэтому эти озера и называют морями). Ветровые течения, термика, режим солености воды, ее солевой состав имеют черты морских, и поэтому изучались в основном специалистами-океанологами, в частности, из Государственного океанографического института и Московского государственного университета.

**Третье.** Будучи бессточными водоемами, Каспий и Арал не обладают способностью регулировать свой режим, изменяя сток вытекающей из водоема реки, как это происходит у сточных озер. В Каспии и Арале действует другой механизм регулирования режима. В периоды повышенного речного притока уровень и площадь озер увеличиваются, что должно привести к возрастанию потерь воды на испарение (они в этой климатической зоне достаточно велики).

**Четвертое.** Крупномасштабные колебания уровня обоих водоемов влекут за собой изменения всех других гидрологических, гидрохимических и экологических характеристик озер, а также возможностей их хозяйственного использования.

**Пятое.** У Каспия и Арала велики значения удельного водосбора (для условий середины XX в. 4,7 и 7,9 соответственно), поэтому режим обоих озер в сильной степени зависит от притока речных вод. Он же формируется в бассейнах впадающих в озера рек и подвержен существенным естественным и антропогенным изменениям. Не имея надежных сверхдолгосрочных климатических прогнозов на обширных территориях и аналогичных прогнозов речного стока, точно предсказать заранее изменения режима Каспия и Арала практически невозможно.

photo by Michael Shamshidov  
© OrexCA.com



Мертвые  
пейзажи  
Аральског  
о моря.

Каспийское  
море -  
самое  
большое  
озеро.



## 7.10.2. Каспийское море

Каспий лежит приблизительно на 27 м ниже уровня Мирового океана. При уровне -27 м БС площадь моря составляет 392,6 тыс. км<sup>2</sup>.

Для Каспийского моря характерны сильные ветровые течения (особенно в Северном Каспии), небольшие сейшевые и даже приливные колебания уровня, сильное волнение, значительные нагоны, небольшие изменения солёности воды (вдали от устьев рек она равна 11 — 13 ‰). Каспий чрезвычайно богат рыбой; на его долю приходилось около 90 % уловов осетровых в бывшем СССР.

Основная черта Каспия — это неустойчивый режим его уровня. За период плейстоцена (последние 700 тыс. лет), по данным Г. И. Рычагова, уровень водоема претерпел крупномасштабные колебания в диапазоне около 200 м от -140 до +50 м БС, т. е. уровень опускался на 113 м ниже и поднимался на 77 м выше современного.

Диапазон отметок уровня за последние 1000 лет от -32 до -25 м БС Г. И. Рычагов назвал «зоной риска»; это означает, что в этом диапазоне в современную климатическую эпоху возможны изменения уровня Каспия и этого нельзя не учитывать при хозяйственном освоении побережья.



За 1900—2004 гг. в колебаниях уровня Каспия четко выделяются пять периодов:

- 1) медленного понижения (1900—1929);
- 2) быстрого и резкого падения (1930—1941);
- 3) медленного понижения (1942—1977);
- 4) быстрого и резкого подъема (1978—1995);
- 5) медленного понижения в последние годы (1996—2004).

**Данные об изменениях средних годовых уровней Каспийского моря  
(Махачкала) в 1900—2004 гг.**

Период (число лет)	Уровень воды, м БС		Изменение уровня за период	
	в начале периода	в конце периода	м	см/год
1900—1929 (30)	-25,57	-25,88	-0,31	-1,0
1930—1941 (12)	-25,88	-27,84	-1,96	-16,3
1942—1977 (36)	-27,84	-29,01	-1,17	-3,3
1978—1995 (18)	-29,01	-26,66	+2,35	+13,1
1996—2004 (9)	-26,66	-27,04	-0,38	-4,2

Падение уровня Каспия в 1930—1970-х гг. привело к обмелению прибрежной зоны, выдвигению береговой линии в сторону моря, образованию широких пляжей. Последнее было, пожалуй, единственным положительным следствием падения уровня. Негативных последствий было значительно больше: сократились площади кормовых угодий для рыбного стада в Северном Каспии; обмелевшее устьевое взморье Волги стало интенсивно зарастать водной растительностью, что ухудшило условия прохода рыб на нерест в реку; резко сократились уловы рыбы, особенно ценных пород (осетра, стерляди); уменьшились глубины в судоходных каналах. Подъем уровня в 1978—1995 гг. привел к еще большим негативным последствиям. Хозяйство и население к этому времени «приспособились» к низкому стоянию уровня и, к сожалению, уже освоили «зону риска». В результате в зоне затопления и подтопления оказались значительные освоенные территории, особенно в равнинной части Дагестана, в Калмыкии и Астраханской области. От подъема уровня моря пострадали приморские районы городов Дербент, Каспийск, Махачкала, Сулак, Каспийский (Лагань) и десятки более мелких населенных пунктов. Были затоплены значительные площади сельскохозяйственных угодий. Усилился размыв морского берега (Абразия). Пожалуй, единственными (хотя и немаловажными) положительными следствиями подъема уровня Каспия были увеличение глубин и сокращение площадей, занятых на взморье Волги водной растительностью, что улучшило условия миграции рыб и воспроизводства рыбных ресурсов.

Согласно геологической концепции к причинам изменения уровня водоема относят процессы двух групп. Процессы первой группы, по мнению геологов, ведут к изменению размеров каспийской впадины и, как следствие, к изменению уровня водоема. К числу таких процессов относят вертикальные и горизонтальные тектонические движения земной коры, накопление донных осадков, сейсмические явления. Во вторую группу включают процессы, которые, по мнению геологов, воздействуют на подземный сток в море, то увеличивая его, то уменьшая (например, периодическое выдавливание или поглощение вод при сжатии и растяжении горных пород).

Главным же доказательством несущественной роли геологических факторов в режиме всего Каспийского моря является убедительное количественное подтверждение второй — климатической, а точнее — воднобалансовой концепции колебаний уровня Каспия.



Самая обширная депрессия (понижение земной поверхности) - Каспийское море, омывающего берега Азербайджана, России, Казахстана, Туркменистана и Ирана.

Уровень моря повышается тогда, когда приходная часть водного баланса (прежде всего водный сток рек) возрастает и начинает превышать расходную часть; уровень понижается, если приток вод сокращается. Роль изменений атмосферных осадков и испарения в колебаниях уровня Каспия значительно меньше.

Весьма показательна роль стока Волги в водном балансе Каспия и колебаниях его уровня. В маловодные и средние по водности периоды Волга дает около 75 %.

### Водный баланс Каспийского моря.

Период (число лет)	Средний уровень, м БС	Средняя площадь моря, тыс. км <sup>2</sup>	Приход, $\frac{\text{км}^3/\text{год}}{\text{см/год}}$			Расход, $\frac{\text{км}^3/\text{год}}{\text{см/год}}$		Результу- рующий баланс, $\frac{\text{км}^3/\text{год}}{\text{см/год}}$	Изменение уровня за период, см, по балансовым расчетам по наблюдениям
			речной сток	осад- ки	под- земный сток	испа- рение	сток в Кара- Богаз- Гол		
1900—1929 (30)	-26,08	404,2	$\frac{332}{82}$	$\frac{70}{17}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{390}{96}$	$\frac{22}{5}$	$\frac{-6}{-1}$	$\frac{-30}{-31}$
1930—1941 (12)	-26,81	394,4	$\frac{269}{68}$	$\frac{72}{18}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{397}{100}$	$\frac{12}{3}$	$\frac{-64}{-16}$	$\frac{-192}{-196}$
1942—1977 (36)	-28,28	369,0	$\frac{275}{75}$	$\frac{71}{19}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{354}{96}$	$\frac{10}{3}$	$\frac{-14}{-4}$	$\frac{-144}{-117}$
1978—1995 (18)	-27,77	379,1	$\frac{315}{83}$	$\frac{86}{23}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{349}{92}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{+48}{+13}$	$\frac{+234}{+235}$
1996—2000 (5)	-26,98	392,8	$\frac{283}{72}$	$\frac{74}{19}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{397}{101}$	$\frac{19}{4}$	$\frac{-55}{-14}$	$\frac{-70}{-44}$

\* По данным Р. Е. Никоновой (Государственный океанографический институт) с уточнениями и округлениями автора главы; фактические изменения уровня — по посту Махачкала.

Учитывая большую роль стока Волги в водном балансе Каспия, неоднократно делались попытки скоррелировать сток Волги и уровень моря. Такая прямая корреляция не дает удовлетворительных результатов.

Хотя в многолетних колебаниях уровня Каспия главная роль принадлежит фактору климатическому, важное значение имеет также и оценка влияния на уровни воды хозяйственной деятельности. Изъятие больших объемов воды на заполнение водохранилищ, водозабор на хозяйственные нужды, потери воды на испарение с поверхности водохранилищ, безусловно, сократили приток речных вод в Каспий.

По расчетам В. Н. Малинина (1994), совокупное влияние всех видов хозяйственной деятельности уменьшило фактический уровень Каспия по сравнению с «естественным» к началу 60-х годов XX в. всего на 5 см, к 1965 г. (когда большой объем воды пошел на наполнение крупных водохранилищ) — уже на 76 см, к 1980 г.— на 127 см, к 1990 г.— на 157 см. В настоящее время разница между «естественным» и фактическим уровнем, по-видимому, составляет около 170 см. Заметим, что если к наивысшему уровню Каспия (около -26,7 м БС в 1995 г.) прибавить упомянутую разницу (в 1995 г.— около 1,6 м), то получим как раз верхний предел диапазона, названного Г. И. Рычаговым «зоной риска» — около -25 м БС.

**Можно считать доказанным, что основной причиной происходивших в прошлом крупномасштабных колебаний уровня Каспийского моря были факторы климатические.**

**Однородные климатические изменения захватывали огромные пространства — и бассейны питающих Каспий рек и само озеро; причем изменения определяющих факторов влияли на водный баланс водоема в одном направлении.**

**Сравнение солевого состава вод Каспия с солевым составом вод пресных озер и океана говорит о том, что каспийская вода по своему химическому составу радикально отличается от воды пресных озер (например, Байкала) и приближается к океанской. В отличие от вод рек и пресных озер в ней преобладают хлорион, сульфатион (из анионов) и натрий и магний (из катионов). Сходный состав имеют и очень сильно минерализованные воды залива Кара-Богаз-Гол.**



Море Каспийское.

# Содержание главных ионов в водах океана и некоторых озёр.

Ионы	Оз. Байкал <sup>1</sup>	Каспийское море <sup>2</sup>	Аральское море		Зал. Кара-Богаз-Гол <sup>1</sup>	Океан <sup>2</sup>
			до 1961 <sup>2</sup>	2001 <sup>3</sup>		
Cl <sup>-</sup>	0,6	5,347	3,009	23,46	142,5	18,98
	0,6	41,3	34,2	40,2	49,0	55,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,2	3,038	2,690	15,09	46,9	2,65
	5,4	23,5	30,6	25,8	16,1	7,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	66,5	0,214	0,172	0,28	0	0,14
	69,0	1,6	1,9	0,5	0	0,4
Na <sup>+</sup>		3,156	1,946	15,05		10,56
	5,8	24,4	22,1	25,8	81,2	30,6
K <sup>+</sup>	6,0	0,100	0,097	0,19	27,9	0,38
		0,8	1,1	0,3		1,1
Ca <sup>2+</sup>	15,2	0,334	0,413	0,61	0,29	0,41
	15,8	2,6	4,7	1,0	0,1	1,2
Mg <sup>2+</sup>	3,1	0,740	0,459	3,64	19,9	1,27
	3,2	5,7	5,2	6,2	6,8	3,7
Сумма ионов	96,4	12,93	8,79	58,41	290,80	34,45
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Примечания: 1. В числителе — концентрация ионов в мг/л для Байкала и в г/кг (‰) для других объектов; в знаменателе — доля иона в солевом составе в %. 2. Использованы данные: <sup>1</sup> А. М. Никанорова, <sup>2</sup> А. И. Симонова, <sup>3</sup> А. Н. Косарева.



**Закат на Каспийском море.**



**Каспийское море(вид из космоса).**



**Побережье Каспийского моря(снимок с самолёта).**



**Береговая линия Каспия.**

**Вопрос о возможных колебаниях уровня Каспийского моря в будущем остается открытым. Надежные сверхсрочные прогнозы речного стока — ведущего фактора в изменениях уровня моря — тем более в условиях нестационарности климата, пока отсутствуют. В настоящее время можно говорить лишь о том, что уровень Каспия в обозримой перспективе не может превысить, с учетом влияния антропогенного фактора, -26—26,5 м БС. В ближайшие же годы возможно некоторое понижение уровня (например, до -27,5 м БС) или небольшие колебания в ту или иную сторону, как в 1997—2004 гг.**



## 7.10.3. Аральское море

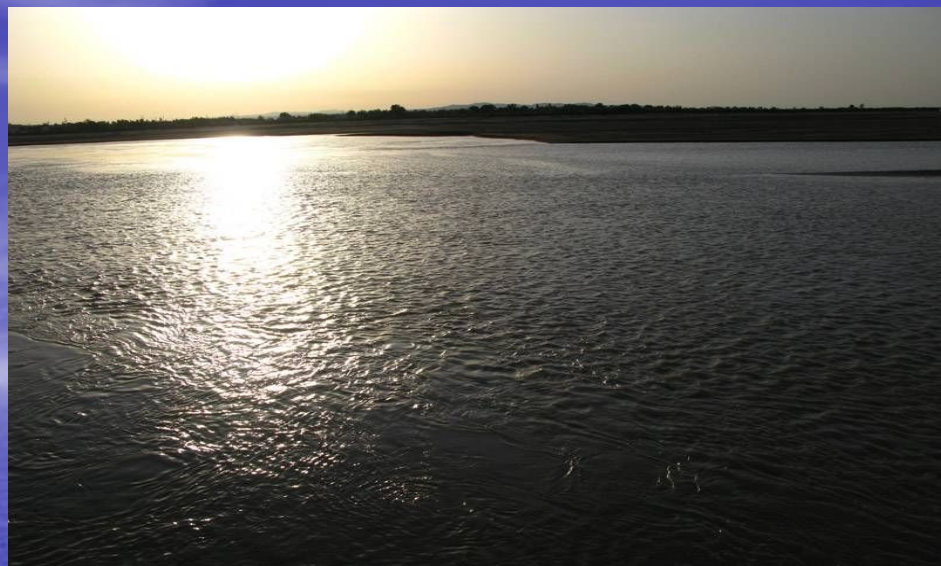
Подобно Каспию Аральское море — также водоем с очень изменчивым уровнем. В далеком прошлом происходили периодические трансгрессии и регрессии Арала. Это было в основном связано с тем, куда впадала Амударья — в Арал, Сарыкамышскую впадину или через Узбой в Каспийское море.



Аральское море. Было и стало.

Так выглядит в наши дни Аральское море на карте. Оно распалось на два.

**Совсем недавно, всего 40—50 лет назад, Аральское море представляло собой уникальный водоем среди пустынь Средней Азии, который славился обилием рыбы, пляжами, голубой водой. Дельты рек Амударьи и Сырдарьи были своеобразными зелеными оазисами среди пустынь; природные богатства дельт составляли густые заросли тростника, непроходимые тугайные леса, озера, населенные рыбой, водоплавающей птицей и ондатрой, сенокосные угодья, орошаемые земли и пастбища. Арал в то время получал регулярное питание водой впадающих в него рек — Амударьи и Сырдарьи и имел почти стабильный уровень на отметке около 53 м БС.**



**Амударья какой была и какой стала.**



**Лишь развалины древних городов напоминают о вздорном характере своенравной и буйной реки.**

**Начиная с 1961 г. уровень Арала стал быстро понижаться, а само озеро усыхать. За 40 минувших лет уникальный водоем утратил свой прежний природный облик.**

**Систематические гидрологические исследования Аральского моря прекратились с начала 90-х годов XX в.; в это же время были закрыты последние гидрологические посты на островах Лазарева и Барсакельмес. В последние годы единственным способом систематического контроля за состоянием Арала является съемка из космоса .**

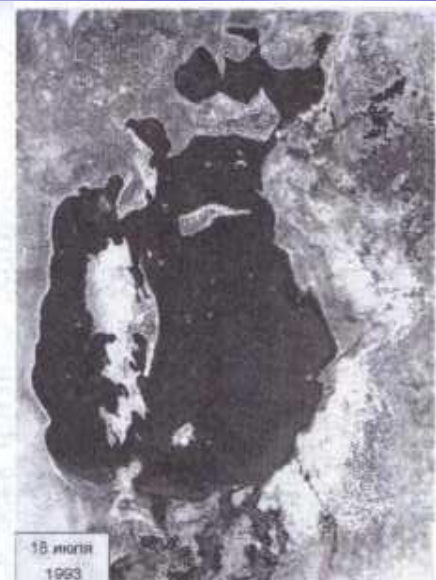


**Поверхности бывшего дна Аральского моря.**



**Вид Аральского моря в его юго-западной части (Узбекистан)**

# Изменения очертаний Аральского моря за 1975—1999 гг. (космические снимки).



## **Радикальные изменения коснулись всех физико-географических, гидрологических и экологических характеристик водоема .**

- 1.** С 1960 по 2002 гг. уровень Арала упал более чем на 22 м. Средняя интенсивность снижения уровня за 42 года составила более 0,5 м/год. В отдельные годы уровень водоема падал на величину более 1 м.
- 2.** За этот же период площадь всего Аральского моря сократилась приблизительно с 67 до 19 тыс. км<sup>2</sup>, т. е. в 3,5 раза. Объем всего водоема сократился с 1090 до 130 км<sup>3</sup>, т. е. более чем в 8 раз. Средняя глубина уменьшилась за это время с 16 до 6,8 м, а наибольшая (эта точка находится в западной глубоководной части озера) — с 69 до 47 м.
- 3.** В 1988—1989 гг. Арал разделился на два водоема — Большое и Малое море. Эти два «плеса» существовали и раньше; при едином Арале их соединял пролив Берга. После разъединения излишки воды из Малого моря периодически перетекали в Большое море по небольшому протоку. Отчленившееся от основной части Арала Малое море после 1989 г. мало изменило свою площадь, объем и уровень. В то время как уровень, площадь и объем Большого моря продолжали уменьшаться, размеры Малого моря «законсервировались» на 2800—3000 км<sup>2</sup> (площадь), около 18 км<sup>3</sup> (объем); уровень в Малом море сохранялся на отметке 39,5—40,5 м БС.

**4. Береговая линия Арала (в основном Большого моря и его мелководной восточной части) переместилась на довольно большие расстояния и выровнялась. Осохли многие заливы (в особенности на востоке и юге водоема), острова сомкнулись с берегом и превратились в полуострова. Практически высохли дельты Амударьи и Сырдарьи. В 2001 г. соединился с южным берегом Арала о. Возрождения, самый большой остров в водоеме. Постепенно происходит разделение Большого моря на две части — глубоководную западную, примыкающую к плато Устюрт, и мелководную восточную. Это разделение Большого моря может произойти в самые ближайшие годы. Максимальная глубина в восточной части Большого моря была в 2002 г. всего около 6 м.**

**Некоторые характеристики Аральского моря и стока втекающих в него рек.**

Год	Уровень, м БС <sup>2</sup>	Площадь, км <sup>2</sup>			Объем всего моря, км <sup>3</sup>	Средняя глубина, м	Соленость воды в Большом море, ‰	Сток рек, км <sup>3</sup> /год		
		Большого моря	Малого моря	всего Арала				Амударьи	Сырдарьи	обеих рек
1945	52,76	59 840	6230	66 070	1053	15,9	—	—	—	—
1950	52,83	59 980	6250	66 230	1057	16,0	—	—	—	—
1955	53,17	60 660	6350	67 010	1078	16,1	—	—	—	—
1960	53,41	61 140	6420	67 560	1093	16,2	9,9	37,9	12,0	49,9
1965	52,30	58 920	6090	65 010	1025	15,8	10,7	25,2	3,2	28,4
1970	51,42	57 160	5830	62 990	972	15,4	11,4	28,7	6,5	35,2
1975	49,01	52 340	5103	57 443	825	14,4	13,8	10,0	0,3	10,3
1980	45,76	47 000	4294	51 294	650	12,7	16,9	8,3	1,7	10,0
1985	41,95	41 170	3400	44 570	466	10,5	23,1	0,0	0,0	0,0
1989 <sup>1</sup>	39,10	36 450	3000	39 450	347	8,8	32	0,8	3,0	3,8
1990 <sup>3</sup>	$\frac{38,5}{40,0}$	35 500	3000	38 500	325	8,4	33	9,9	2,5	12,4
1995	$\frac{36,1}{39,5}$	29 800	2800	32 600	252	7,7	42	—	—	—
2000	$\frac{34,0}{39,5}$	23 900	2800	26 600	193	7,2	60	—	—	—
2002	$\frac{31,0}{39,5}$	16 000	2800	18 800	128	6,8	68	—	—	—

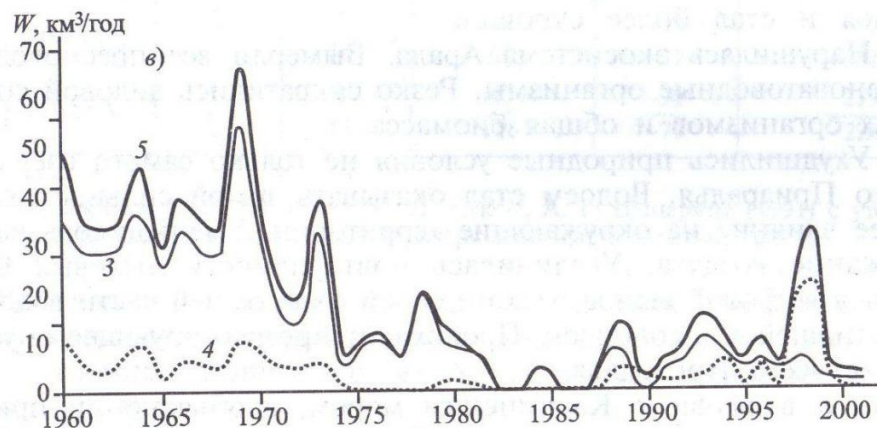
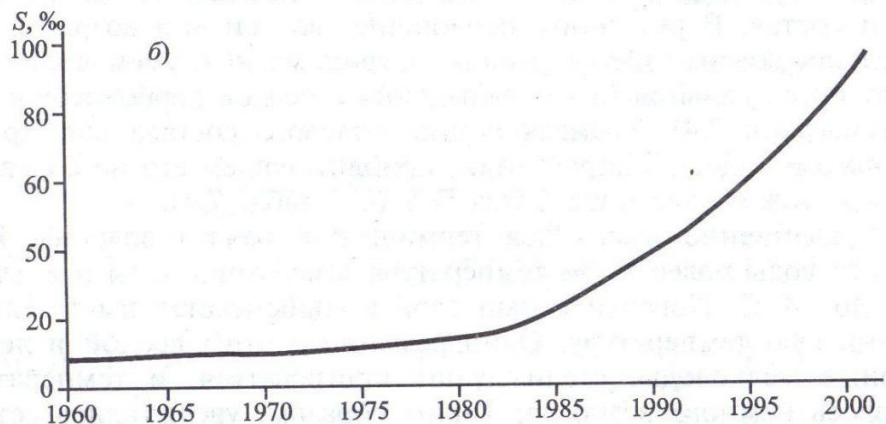
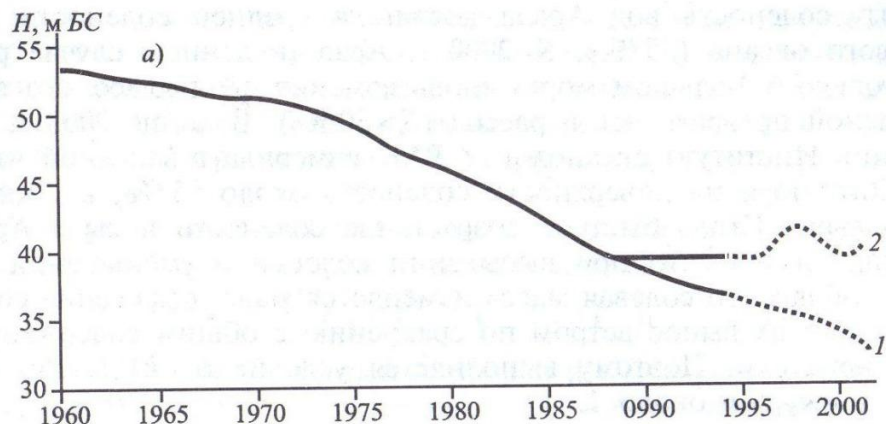
<sup>1</sup> В 1989 г. Арал разделился на две части — Большое море и Малое море; <sup>2</sup> начиная с 1990 г. в числителе уровень Большого моря, в знаменателе — Малого; <sup>3</sup> с 1990 г. данные приближенные; прочерк означает отсутствие данных.



**5.** По мере уменьшения объема Арала быстро (почти «зеркально» по отношению к понижению его уровня) увеличивалась соленость его вод. До начала падения уровня соленость вод Арала была схожа с соленостью вод Каспия и составляла 10—11 ‰. К концу 80-х годов XX в. соленость превысила 25 ‰, т. е. водоем изменил свой класс с солоноватого на соленый.

Схема изменений береговой линии Аральского моря с 1957 по 2002 гг. (по данным В. И. Кравцовой).

# Изменение гидрологических характеристик Аральского моря:



**а** —уровня моря (м БС):

отдельно Большого моря — **1**

и Малого моря — **2**;

**б** — солености воды (‰);

**в** —стока рек, впадающих в водоем:

отдельно Амударьи — **3**,

Сырдарьи — **4**

и обеих рек в сумме — **5**



**6.** Одновременно с увеличением солености воды изменялся и ее солевой состав. В результате осолонения вод сильно возросло относительное содержание хлор-иона, натрия, магния, уменьшилось — сульфатона, кальция (из-за выпадения в осадок карбонатов кальция). Трансформация солевого состава вод Арала, по-видимому, идет в направлении, приближающем его по солевому составу к водам зал. Кара-Богаз-Гол .

**7.** Существенно изменился термический режим водоема. При солености воды более 80 ‰ температура замерзания воды падает до  $-4^{\circ}\text{C}$ . Поверхностный слой в водоеме стал иметь зимой очень низкую температуру. Одновременно с этим весной и летом обширные мелководья стали лучше прогреваться, и температура воды здесь немного возросла. Таким образом, увеличились сезонные колебания температуры воды. Ледовый режим озера также изменился и стал более суровым.

**8.** Нарушилась экосистема Арала. Вымерли все пресноводные и солоноватоводные организмы. Резко сократились видовой состав водных организмов и общая биомасса.

**9.** Ухудшились природные условия не только самого озера, но и всего Приаралья. Водоем стал оказывать зимой сильное охлаждающее влияние на окружающие территории. Уменьшилось влагосодержание воздуха. Увеличилась повторяемость пылевых бурь, усилился ветровой вынос песка и солей с высохшей части водоема, превратившейся в солончак. Происходит прогрессирующее опустынивание всего Приаралья.

Как и в случае с Каспийским морем, в объяснении причин значительного понижения уровня Арала и его деградации противостоят геологическая и воднобалансовая концепции. Некоторые геологи считают, что между котловинами Арала и Каспия существует подземный переток вод, который периодически изменяет свое направление; суть другой гипотезы состоит в том, что имеется односторонний подземный переток из русла Амударьи в Каспий, особенно активизирующийся после землетрясений.

**Во-первых**, все изменения размеров и режима Арала могут быть объяснены на основе анализа уравнения водного баланса.

**Во-вторых**, главная причина этих изменений — антропогенное сокращение стока Амударьи и Сырдарьи.

# Водный баланс Аральского моря

Период (число лет)	Приход, $\frac{\text{км}^3/\text{год}}{\text{см}/\text{год}}$		Расход, $\frac{\text{км}^3/\text{год}}{\text{см}/\text{год}}$	Результу- рующий баланс, $\frac{\text{км}^3/\text{год}}{\text{см}/\text{год}}$	Изменение уровня за период, по расчетам <hr/> по наблюдениям
	речной сток	осадки	испарение		
1911—1960 (50)	$\frac{56}{85}$	$\frac{9}{14}$	$\frac{66}{100}$	$\frac{-1}{-1}$	$\frac{-50}{-}$
	$\frac{43}{69}$	$\frac{8}{13}$	$\frac{65}{104}$	$\frac{-14}{-22}$	$\frac{-220}{-199}$
1961—1970 (10)	$\frac{17}{29}$	$\frac{6}{11}$	$\frac{55}{97}$	$\frac{-32}{-57}$	$\frac{-570}{-566}$
	$\frac{2}{4}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{46}{96}$	$\frac{-37}{-77}$	$\frac{-385}{-381}$
1971—1980 (10)	$\frac{11}{28}$	$\frac{6}{15}$	$\frac{47}{116}$	$\frac{-30}{-73}$	$\frac{-219}{-228}$

Причина понижения уровня Аральского моря — воднобалансовая, а именно — значительное сокращение стока рек Амударьи и Сырдарьи. Это сокращение приблизительно на 20 % объясняется климатическими причинами (усилением засушливости всей Средней Азии) и на 80 % — антропогенным фактором.

Крупномасштабный забор воды на орошение привел к тому, что к 80—90-м годам XX в. водные ресурсы этих двух рек были практически исчерпаны.

Деградация Арала будет продолжаться. Через несколько лет он будет уже состоять из трех практически изолированных водоемов: Малого моря с более или менее стабильным режимом, обусловленным периодическими поступлениями туда стока Сырдарьи и искусственно регулируемым сбросом вод в остальную часть Арала; быстро мелеющей восточной частью Большого моря, которая полностью сохнет, если уровень упадет до отметки 26 м БС; глубокой западной частью Большого моря, которая превратится в водоем с соленостью более 100 ‰. Интенсивность деградации восточной и западной частей Большого моря будет зависеть от величины поступающего туда стока Амударьи. Если речная вода не будет поступать в остаточные водоемы бывшего Аральского моря, то они неизбежно и быстро высохнут, а их дно превратится в солончаки.

## **7.11. ВЛИЯНИЕ ОЗЕР НА РЕЧНОЙ СТОК. ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЗЕР**

**Влияние озер на природную среду проявляется прежде всего через речной сток. Различают общее постоянное воздействие озер на круговорот воды в речных бассейнах и регулирующее воздействие на внутригодовой режим рек.**

**Основное влияние сточных водоемов суши на материковое звено круговорота воды (а также солей, наносов, теплоты и т. д.) заключается в замедлении водо-, соле- и теплообмена в гидрографической сети. Озера (как и водохранилища) представляют собой скопление вод, увеличивающее емкость гидрографической сети. В самом деле, объем воды, сосредоточенный в пресных озерах мира,—91 тыс. км<sup>3</sup>, в то время как в реках одновременно находится лишь 2,12 тыс. км<sup>3</sup> воды. Обновление вод в озерах происходит во много раз медленнее, чем в реках, поэтому, чем больше озерность речного бассейна, тем медленнее водообмен в его гидрографической сети.**

**Меньшая интенсивность водообмена в речных системах, включающих озера (и водохранилища), имеет ряд серьезных последствий: накопление в водоемах солей, органических веществ, наносов, теплоты и других компонентов речного стока.**

**Если с водной поверхности воды испаряется больше, чем величина осадков, то проточные водоемы уменьшают сток вытекающих из них рек. Кроме того, сточные озера (как и водохранилища) перераспределяют речной сток во времени, оказывая на него регулирующее воздействие и выравнивая его в течение года .**



Женевское озеро, Швейцария.

**Озера оказывают, таким образом, регулирующее влияние не только на сток воды, но и на сток солей, наносов, теплоты. Температура воды рек, вытекающих из глубоких озер, в период нагревания ниже, а в период охлаждения — выше, чем на незарегулированных водоемами реках в тех же природных условиях.**

**Помимо непосредственного влияния озер на речной сток необходимо учитывать и их воздействие на природную среду в целом. Водоемы суши оказывают заметное влияние на местные климатические условия, уменьшая континентальность климата и увеличивая продолжительность весны и осени.**

Озера широко используют для рыбного хозяйства, водного транспорта, водоснабжения, добычи минерального сырья, отдыха, туризма и спорта. Важно отметить необходимость комплексного и рационального использования водных и других ресурсов озер с обязательным учетом требований охраны природных (водных, земельных, рыбных и др.) ресурсов.

Проблема защиты природных ресурсов озер (особенно бессточных) неразрывно связана с рациональным использованием и охраной водных ресурсов в бассейнах рек, питающих эти озера.



Севан — самое большое озеро в Армении.

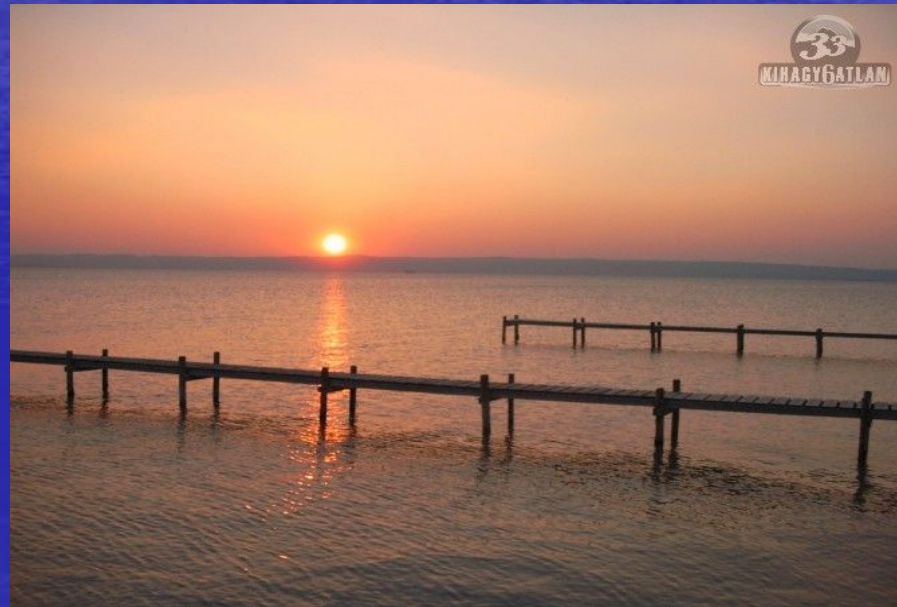


Хорватские Плитвицкие Озера.

**Судьба Аральского моря — серьезное предостережение, показывающее, как опасно бесконтрольное использование водных ресурсов во взаимосвязанной системе речной бассейн — озеро. Этот пример должен серьезно насторожить при использовании водных ресурсов в бассейнах таких озер, как Иссык-Куль, Балхаш, Севан, да и Каспийского моря тоже. Сокращение стока рек, впадающих в озера Иссык-Куль и Балхаш, уже привело к снижению их уровня и увеличению солености воды. Значительное антропогенное понижение уровня воды в оз. Севан вызвало сильную эрозию в устьях рек с большим уклоном дна и, наоборот, заболачивание мелководных прибрежных районов и устьев рек с малым уклоном. В северной части Каспийского моря отмечено увеличение загрязненности вод.**



**Соболиные озера.**



**Окрестности озёра Фертё.**



# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов  
«Гидрология».

2. <http://gidtravel.com/country/h>

3. <http://study4you.ru/index.php>

4. [http://озеротелецкое.рф/062\\_te...](http://озеротелецкое.рф/062_te...)

**Спасибо за внимание!**